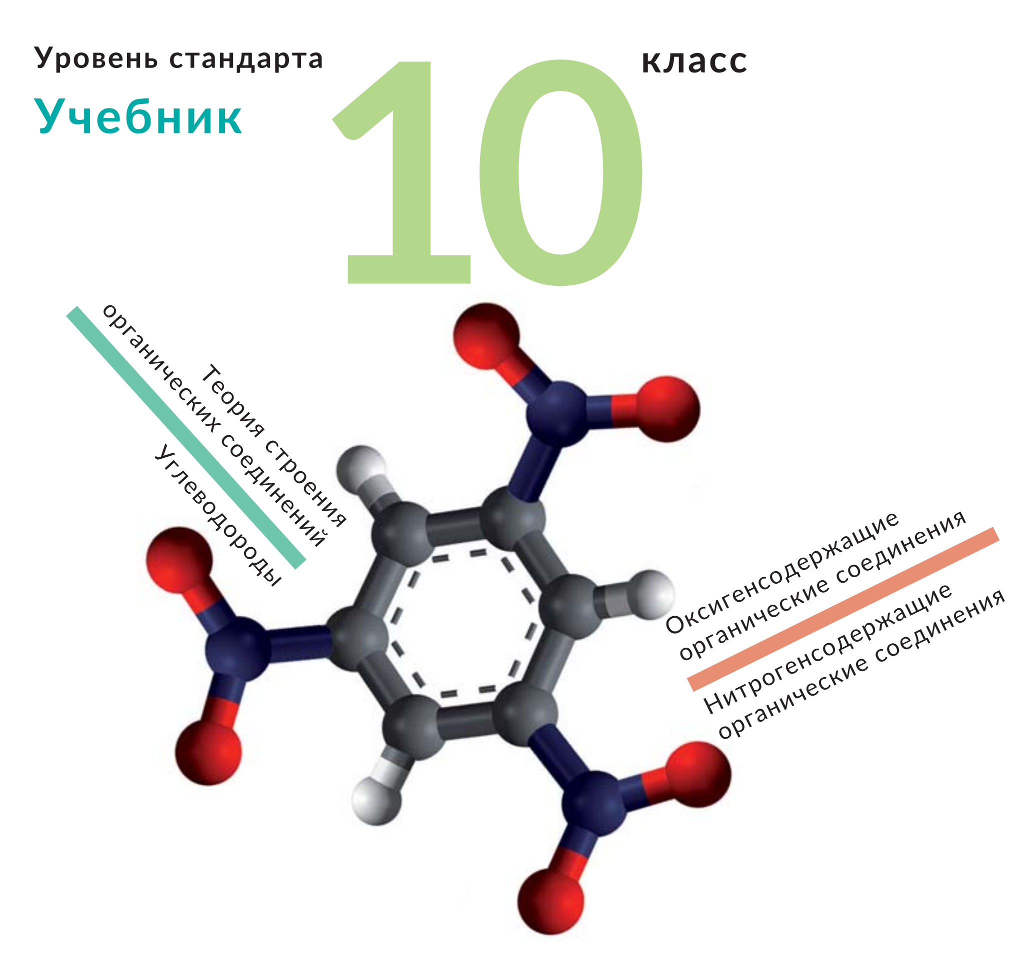
П. П. Попель, Л. С. Крикля

ХИМИЯ

Уровень стандарта

Учебник

10 класс



Синтетические высокомолекулярные органические соединения и материалы на их основе

Взаимопревращения органических веществ. Органические соединения в жизни человека и общества

УДК 547(075.3)=161.1
П57

Рекомендовано Министерством образования и науки Украины
(Приказ Министерства образования и науки Украины от 11.10.2018 г. № 1085)

Издано за счет государственных средств. Продажа запрещена

Попель П. П.
П57 Химия (уровень стандарта) : учеб. для 10 кл. заведений общего среднего образования с обуч. на рус. яз. / П. П. Попель, Л. С. Крикля ; пер. с укр. П. П. Попеля. — Киев : ВЦ «Академія», 2018. — 272 с. : ил.

ISBN 978-966-580-558-8
ISBN 978-966-580-560-1

Учебник подготовлен в соответствии с учебной программой по химии для 10 класса заведений общего среднего образования (уровень стандарта). В нем рассмотрены классификация, состав, строение, свойства и применение важнейших органических соединений. Содержит описания практической работы, лабораторных опытов, вопросы, упражнения, задачи, приложения, дополнительный материал для любознательных, а также словарь химических терминов, предметный указатель, список литературы для учащихся и интернет-сайтов с интересным материалом по химии.

УДК 547(075.3)=161.1

Переведено по изданию:
Хімія (рівень стандарту) : підруч. для 10 кл. закладів загальної середньої освіти / П. П. Попель, Л. С. Крикля. — Київ : ВЦ «Академія», 2018. — 256 с. : іл.

ISBN 978-966-580-558-8
ISBN 978-966-580-560-1

Уважаемые десятиклассники!

В этом учебном году вы продолжите изучать органические вещества — соединения, образованные элементом Карбоном. Углеводороды (соединения Карбона с Гидрогеном) входят в состав нефти, природного газа. В живых организмах содержатся органические вещества, молекулы которых состоят из атомов трех или большего числа элементов, — жиры, углеводы, карбоновые кислоты, аминокислоты, белки, витамины, ферменты и др. Много различных соединений Карбона получают химики в лабораториях, инженеры и технологи — на заводах. Ознакомитесь также с органическими полимерами, пластмассами, синтетическими волокнами, которые постепенно заменяют природные и традиционные материалы.

Вы углубите свои знания о ковалентной связи. Понимание особенностей химической связи в органических соединениях дает возможность прогнозировать свойства веществ, определять продукты реакций с их участием. Узнаете также о систематической номенклатуре — системе названий, в соответствии с которой каждому веществу дают название, указывающее на его состав, строение, и научитесь называть органические соединения.

На многих фактах вы убедитесь, что состав и строение органических веществ обуславливают их свойства. Это будет способствовать формированию целостного представления об органической химии — разделе химической науки, тесно связанном с живыми организмами и окружающей средой.

Как и ранее, вам предстоит проводить опыты — отдельные и объединенные в практическую работу. Выполняя их, изучите свойства органических соединений, сможете распознавать вещества, определять некоторые из них в пищевых продуктах. Все это поможет закрепить практические навыки, способность анализировать результаты экспериментов, кратко и содержательно формулировать выводы. Безусловно, при проведении опытов вам необходимо соблюдать правила работы и безопасности.

В нашем учебнике, как и в предыдущих, важнейшие определения поданы цветным шрифтом. Новые термины, слова со

смысловым акцентом, заголовки в параграфах, важная информация выделены курсивом или жирным шрифтом. Описание химического эксперимента (лабораторные опыты, практическая работа) помещено на цветном фоне. Вспомогательный материал отмечен слева цветной линией, а некоторые интересные факты и сведения вынесены на поля. Каждый параграф содержит вопросы, упражнения, задачи различной сложности. Некоторый более расширенный материал вынесен в рубрику «Для любознательных». Химические свойства органических соединений, способы их получения, а также качественные реакции собраны в Приложениях. Для удобства работы с учебником предлагается предметный указатель.

Старайтесь вдумчиво и настойчиво работать с материалом, поданным в учебнике, давать обоснованные ответы на вопросы в конце параграфов, самостоятельно решать задачи.

Надеемся, что изучать химию с этой книгой вам будет легко и интересно.

Авторы

1 раздел
Теория строения органических соединений

Этот раздел содержит материал о классификации органических веществ и типах химической связи, которые в них реализуются. Вы ознакомитесь с основными положениями теории строения органических соединений и явлением изомерии — одним из факторов, обуславливающих разнообразие органических веществ, а также научитесь решать задачи на выведение их химических формул.

1 Органические соединения

Материал параграфа поможет вам:

- вспомнить основные сведения об органических соединениях;
- понять причины многочисленности органических веществ;
- узнать о существовании систематической номенклатуры веществ;
- пополнить свои знания о классификации органических соединений.

Органические соединения. Вам известно, что органические вещества — это соединения Карбона. Кроме атомов этого элемента, в молекулах органических веществ есть атомы

Гидрогена. Молекулы многих органических соединений содержат еще и атомы Оксигена, Нитрогена, галогенов, а некоторых — атомы Сульфура, Фосфора и др.

Почти все органические вещества состоят из молекул. Поэтому для них характерны невысокие температуры плавления и кипения. Большинство органических соединений имеет запах, плохо растворяется в воде или не растворяется в ней; при нагревании они загораются или разлагаются.

Ныне известно более 20 миллионов органических веществ. Их получают из горючих ископаемых, выделяют из растений, синтезируют в химических лабораториях, производят на заводах. Разнообразие органических соединений в значительной мере обусловлено способностью атомов Карбона

- проявлять достаточно высокую валентность (ее значение равно четырем);
- образовывать простые, двойные и тройные ковалентные связи ($-\overset{|}{\underset{|}{C}}-$, $=\underset{|}{C}-$, $=C=$, $\equiv C-$);
- соединяться друг с другом в цепи различного строения — неразветвленные ($-\overset{|}{\underset{|}{C}}-\overset{|}{\underset{|}{C}}-\overset{|}{\underset{|}{C}}-\overset{|}{\underset{|}{C}}-$), разветвленные ($-\overset{|}{\underset{|}{C}}-\overset{|}{\underset{|}{C}}-\overset{|}{\underset{-\underset{|}{C}-}{C}}-\overset{|}{\underset{|}{C}}-$), замкнутые ($\begin{matrix} -\overset{|}{C}- & \overset{|}{C}- \\ | & | \\ -C- & \underset{|}{C}- \end{matrix}$). Замкнутую цепь называют циклом.

Это интересно
Карбон четырехвалентен во всех соединениях, кроме оксида CO.

Среди органических веществ больше всего углеводородов — соединений Карбона с Гидрогеном.

Многие органические вещества имеют *тривиальные названия*, например, этилен, ацетилен, лимонная кислота, уксусная кислота, этиловый спирт, ацетон, глицерин. По такому названию не представляется возможным записать химическую формулу соединения.

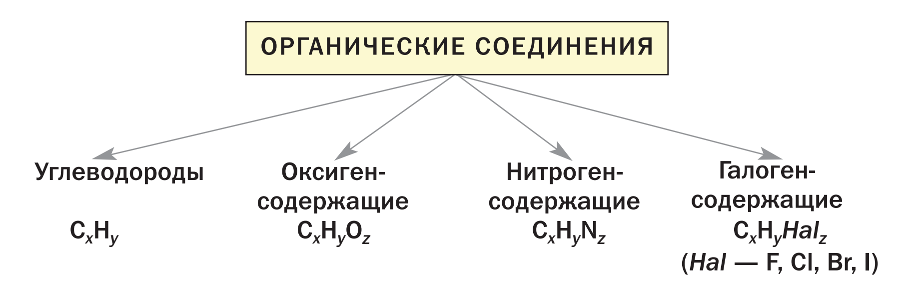
В XX в. были предложены несколько вариантов составления *химических названий* органических веществ. Широкое применение получила *систематическая номенклатура*[1]. Она была разработана Международным союзом чистой и прикладной химии IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemistry). В соответствии с ней органическому соединению дают название (систематическое), указывающее на состав и строение его молекулы.

С правилами и рекомендациями по составлению систематических названий органических веществ вы ознакомитесь на уроках химии и во время работы с учебником. Зная такое название соединения, каждый из вас сможет составить его химическую формулу, изобразить структурную формулу молекулы.

Классификация органических соединений. Ориентироваться в мире органических веществ помогает их классификация. Два способа классификации проиллюстрированы схемами 1 и 2.

Схема 1

Классификация соединений по качественному (элементному) составу

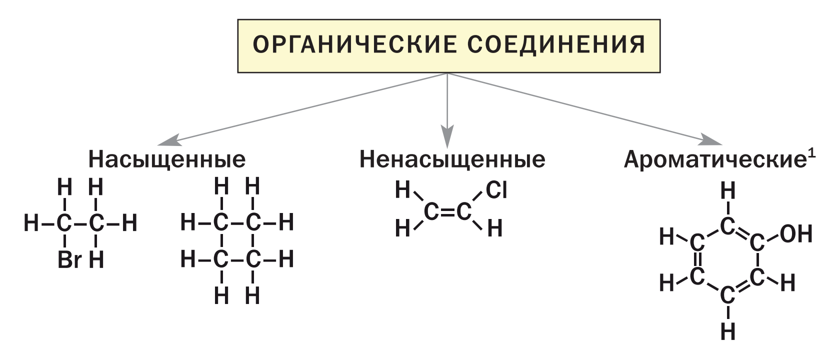


Молекулы *насыщенных* соединений содержат только простые связи между атомами Карбона, а *ненасыщенных* — еще и двойные, тройные связи. В молекулах *ароматических* соединений имеются карбоновые циклы,

[1] Термин происходит от латинского слова nomenclatura — система названий.

Схема 2

Классификация соединений по особенностям связи между атомами Карбона



в которых вследствие чередования простых и двойных связей образуется замкнутая электронная система с равномерно распределенной электронной плотностью[2].

Органические вещества также классифицируют по *строению карбоновой цепи*. Молекулы соединений одного типа имеют открытую карбоновую цепь — неразветвленную или разветвленную. Соединения другого типа состоят из молекул циклического строения.

Это интересно
Простейший циклический углеводород — циклопропан

$$\begin{array}{c} CH_2 \\ / \quad \backslash \\ H_2C - CH_2 \end{array}$$

Еще одним критерием для классификации органических соединений (за исключением углеводородов) является наличие в молекулах определенных групп атомов, называемых *характеристическими*, или *функциональными*, группами. Такая группа атомов обуславливает химические свойства, присущие соединениям данного класса. Среди оксигенсодержащих органических веществ выделяют, например, класс спиртов, класс карбоновых кислот. В молекулах спиртов имеются, кроме углеводородных остатков, гидроксильные группы (–OH), а карбоновых кислот — карбоксильные группы (–COOH). Молеку-

---

[1] Термин происходит от греческого слова arōmatos — душистое вещество.

[2] Об этом пойдет речь в § 11.

лы некоторых соединений содержат несколько различных характеристических групп. Так, в молекуле аминоуксусной кислоты $H_2N–CH_2–COOH$ есть аминогруппа ($–NH_2$) и карбоксильная группа ($–COOH$).

Органические соединения, молекулы которых содержат сотни и тысячи атомов Карбона, называют *высокомолекулярными*. Крахмал, целлюлоза, белки являются природными высокомолекулярными соединениями, а полиэтилен — синтетическим высокомолекулярным соединением.

▶ К каким типам (классам) органических веществ относится соединение, имеющее формулу C_2H_5OH?

Рассмотрим упражнение, подтверждающее способность нескольких атомов Карбона вместе с атомами других элементов образовывать много различных молекул, а значит, и органических веществ.

УПРАЖНЕНИЕ. Доказать, что существует не менее 10 органических веществ, в молекулах которых имеется четыре атома Карбона.

Решение

Четыре атома Карбона могут соединяться в неразветвленную, разветвленную и замкнутую цепи.

Запишем различные карбоновые цепи с простыми связями, а также с одной двойной и одной тройной связью:

```
C–C–C–C      C–C          C=C–C–C      C–C
             |  |                      ‖  |
C–C–C        C–C          C–C=C–C      C–C
  |
  C            C          C=C–C        C≡C–C–C
              / \           |
             C–C–C          C          C–C≡C–C
```

Возможны карбоновые цепи с двумя или тремя двойными связями, двумя тройными связями либо двумя разными связями — двойной и тройной. Кроме того, атомы Карбона в молекулах органических веществ могут быть соединены не только с атомами Гидрогена, но и с атомами других элементов.

Итак, веществ с четырьмя атомами Карбона в молекулах намного больше, чем десять.

▶ Допишите к атомам Карбона в приведенных в упражнении карбоновых цепях необходимое количество атомов Гидрогена.

Выполнив последнее задание, вы получили структурные формулы молекул углеводородов.

ВЫВОДЫ

Органические вещества — соединения Карбона. Их многочисленность обусловлена способностью атомов Карбона образовывать простые, двойные, тройные ковалентные связи и соединяться в цепи различного строения.

Многие органические вещества имеют тривиальные названия, но для каждого существует систематическое название, указывающее на состав и строение его молекулы.

Органические соединения классифицируют по качественному составу, особенностям связи между атомами Карбона, строению карбоновой цепи в молекуле. Кроме того, их делят на классы в зависимости от наличия в молекулах определенных характеристических (функциональных) групп.



1. Назовите несколько отличий органических соединений от неорганических.
2. Объясните, почему органических веществ намного больше, чем неорганических.
3. Какие признаки используют для классификации органических соединений?
4. К каким типам (классам) относятся органические вещества с такими формулами:
   а) C_3H_8;
   б) C_2H_3Br;
   в) C_6H_6;
   г) CH_3NH_2;
   д) $(C_6H_{10}O_5)_n$;
   е) $(-CH_2-CH_2-)_n$?

5. Приведите пример насыщенного оксигенсодержащего органического соединения, молекула которого содержит один атом Карбона. Запишите его химическую формулу и изобразите структурную и электронную формулы молекулы.
6. В каком веществе — глюкозе, этиловом спирте или аминоуксусной кислоте — массовая доля Карбона наибольшая?
7. Вычислите плотность (н. у.) и относительную плотность по водороду газообразного соединения, молекула которого имеет сокращенную структурную формулу $CHF_2{-}CH_3$.

2 Теория строения органических соединений

Материал параграфа поможет вам:

- узнать о теории строения органических соединений;
- получить представление о явлении изомерии;
- убедиться в том, что строение молекул влияет на свойства веществ.

Теория строения органических соединений. Расширение научных исследований по химии, систематизация и теоретическое обоснование накопленного экспериментального материала, выявление существенных различий между органическими и неорганическими веществами способствовали тому, что в начале XIX в. химия органических соединений выделилась в самостоятельную область химической науки — органическую химию.

Это интересно
Термин «органическая химия» предложил в 1827 г. шведский ученый Й.-Я. Берцелиус.

Значительный вклад в развитие органической химии сделали немецкие химики Ф. А. Кекуле и А. Кольбе, а также шотландский химик А. Купер. В 1857 г. они пришли к выводу, что в органических веществах атомы Карбона являются четырехвалентными и

соединяются друг с другом в цепи, а Купер предложил обозначать связи между атомами в молекуле черточками.

В 1858—1861 гг. Ф. А. Кекуле, А. Купер и русский химик А. М. Бутлеров независимо друг от друга опубликовали важные утверждения, заложившие фундамент теории строения органических веществ. Ученые понимали строение веществ как последовательность соединения атомов в их молекулах.

Приводим основные положения теории в современном толковании:

- в молекулах органических веществ атомы соединены в определенном порядке в соответствии с валентностью элементов;
- свойства органических веществ зависят не только от их состава, но и от строения молекул;
- атомы и группы атомов в молекуле влияют друг на друга, что отражается на физических и химических свойствах веществ.

В соответствии с этой теорией по строению молекулы вещества можно предсказать его свойства и наоборот, свойства вещества указывают на определенные особенности строения его молекул.

Теория строения органических соединений давала возможность предвидеть существование многих неизвестных веществ. Успешные синтезы таких веществ в химических лабораториях подтверждали правильность созданной теории.

Свое дальнейшее развитие теория строения органических соединений получила в работах голландского химика Я. Вант-Гоффа и французского химика Ж.-А. Ле Беля. Этих ученых считают основоположниками учения о пространственном строении молекул органических веществ, зависимости физических и химических свойств веществ от расположения атомов и групп атомов в пространстве. В 1874 г. они впервые установили, что четыре

Александр Михайлович Бутлеров (1828—1886)



Выдающийся русский химик, профессор Казанского и Петербургского университетов, академик Петербургской академии наук. Внес значительный вклад в развитие органической химии, ее теоретических основ. Объяснил явление изомерии и экспериментально доказал существование изомеров. Написал классический учебник по органической химии. Впервые синтезировал сахаристое вещество (глюкозу) в лаборатории.

связи атома Карбона с другими атомами направлены от центра тетраэдра, где находится этот атом, к вершинам.

Многие открытия в области органической химии связаны с именами украинских ученых — А. П. Эльтекова, С. Н. Реформатского, В. П. Яворского, И. Я. Горбачевского, А. В. Богатского, И. К. Мацуревича, Л. М. Литвиненко, А. И. Киприанова и других.

Теория строения органических веществ благодаря применению современных методов исследования постоянно развивается. В настоящее время известно, что *на свойства соединений влияет не только последовательность расположения атомов в молекуле, но и ее геометрическая (пространственная) форма, распределение электронов между атомами, смещение общих электронных пар, другие особенности электронного строения молекул*.

Изомерия. Каждое вещество имеет свою химическую формулу. А может ли одна формула отвечать двум или трем веществам? Ученые еще в середине XIX в. дали утвердительный ответ на этот вопрос и объяснили причину существования таких веществ.

Известно, что диметиловый этер и этиловый спирт имеют одинаковый состав; химическая формула каждого соединения — C_2H_6O. Однако атомы в молекулах этих веществ соединены в разной последовательности (рис. 1):



Рис. 1. Шаростержневые модели молекул диметилового этера (*а*) и этилового спирта (*б*)

Это приводит к различиям в физических и химических свойствах соединений. Диметиловый этер в обычных условиях является газом; температура кипения вещества равна −23,7 °C. Этиловый спирт — жидкость с температурой кипения +78,3 °C. Этер не взаимодействует с натрием, а спирт реагирует с этим металлом (§ 14).

Вещества, имеющие одинаковый состав, но разное строение молекул, называют *изомерами*[1], а явление существования таких веществ — *изомерией*.

Изомерию, обусловленную разной последовательностью соединения атомов в молекулах, а также разным положением в них кратных[2] связей, называют *структурной*. Диметиловый этер и этиловый спирт — структурные изомеры.

[1] Термин происходит от греческих слов isos — одинаковый, meros — часть.

[2] То есть двойных, тройных связей.

Явление изомерии открыл в 1823 г. немецкий химик Ю. Либих. Изомерия является одной из причин разнообразия и многочисленности органических веществ.

Вскоре вы научитесь предсказывать существование изомеров, определять их количество, составлять структурные формулы молекул и названия этих соединений.

ВЫВОДЫ

Создание теории строения органических веществ стало важным этапом в развитии химии. Согласно этой теории атомы соединены в молекулах в определенной последовательности и оказывают взаимное влияние, а свойства веществ зависят от строения молекул.

Теория строения органических веществ помогла объяснить свойства многих органических соединений, предвидеть возможности получения новых веществ.

Вещества, имеющие одинаковый состав, но разное строение молекул, называют изомерами, а явление существования таких веществ — изомерией.



8. Сформулируйте основные положения теории строения органических соединений.
9. По материалам из интернета или других источников информации подготовьте сообщение об одном из отечественных ученых, имена которых упомянуты в параграфе.
10. Подберите несколько словосочетаний для правильного окончания предложения «*Для того чтобы описать строение молекулы органического вещества, необходимо знать...*»:
    а) состав молекулы;
    б) последовательность соединения атомов в молекуле;
    в) расположение атомов в пространстве;
    г) температуры плавления и кипения вещества;
    д) химические свойства вещества;
    е) электроотрицательности атомов.

11. Какие вещества называют изомерами? Являются ли изомерами вещества с такими формулами:
   а) C_2H_4 и C_2H_6;
   б) CH_3Cl и $CHCl_3$;
   в) $CH_3-CH_2-CH_2-OH$ и $CH_3-\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{CH}}-CH_3$?
12. Охарактеризуйте химические связи в молекулах изомеров — диметилового этера и этилового спирта. Связь между какими атомами в каждой молекуле является наиболее полярной?

3 Химическая связь в органических веществах

Материал параграфа поможет вам:

- выяснить, какие типы химической связи реализуются в органических веществах;
- углубить свои знания о ковалентной связи;
- узнать об особенностях ковалентных связей между атомами Карбона.

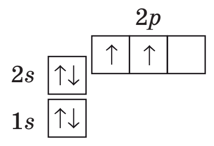
Изучая химию, вы ознакомились с ионной, ковалентной, водородной связью. В органических соединениях реализуются все три типа связи. Наиболее распространенной является ковалентная связь, поскольку почти все органические вещества состоят из молекул, а в них атомы соединены именно такой связью.

Ковалентная связь. Вам известно, что ковалентная связь возникает между двумя атомами вследствие образования одной или нескольких общих электронных пар за счет неспаренных электронов[1]. Формированию таких пар предшествует перекрывание соответствующих орбиталей. Орбитали могут перекрываться с образованием:

[1] Существует другой механизм образования ковалентной связи (с. 165).

- *одного общего участка*, который пересекает линия, соединяющая центры атомов;
- *двух общих участков*, расположенных с противоположных сторон от указанной линии.

Образование ковалентных связей с участием атомов Карбона. В органических веществах атомы Карбона могут соединяться с другими атомами простыми, двойными, тройными связями (рис. 2). В этих веществах Карбон четырехвалентен. Такое значение валентности возможно, если у атома есть четыре неспаренных электрона. Согласно графическому варианту электронной формулы атома Карбона,



в нем имеется только два таких электрона. В 9 классе вы узнали, что при поглощении атомом Карбона определенной порции энергии один из 2*s*-электронов переходит в свободную *p*-орбиталь, и количество неспаренных электронов возрастает до четырех:

2*s* ↑↓ 2*p* ↑ ↑ → 2*s* ↑ 2*p* ↑ ↑ ↑

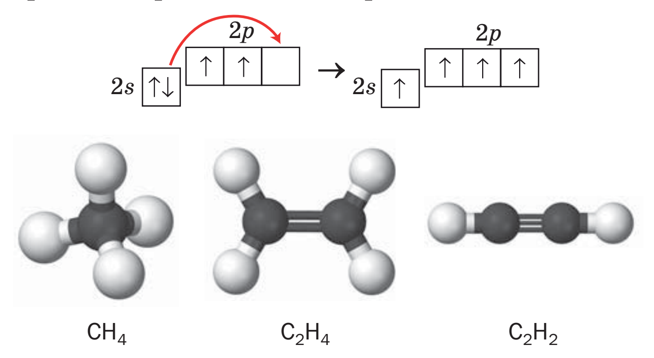


Рис. 2. Шаростержневые модели молекул углеводородов

В молекулах насыщенных углеводородов — метана CH_4 и его гомологов — каждый атом Карбона образует с другими атомами четыре простые ковалентные связи. При образовании такой связи энергии 2*s*- и трех 2*p*-электронов

атома Карбона выравниваются, а их орбитали приобретают одинаковую форму — несимметричной восьмерки. Новые орбитали располагаются в пространстве под углами 109,5° (рис. 3) и перекрываются с такими же орбиталями другого атома Карбона и/или с *s*-орбиталями атомов Гидрогена. Образуются простые связи[1] С–С и С–Н.

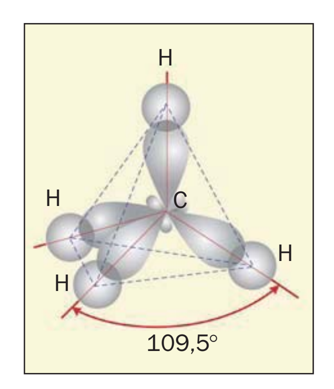
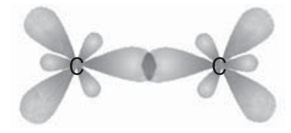


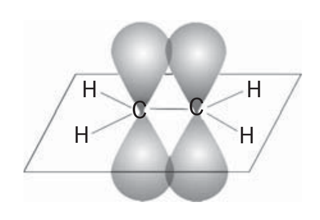
Рис. 3. **Перекрывание орбиталей в молекуле метана CH_4**

В молекулах этена C_2H_4 и его гомологов имеется одна двойная связь С=С. При образовании такой связи 2*s*-орбиталь и две 2*p*-орбитали каждого атома Карбона изменяют свои формы на одинаковую (также несимметричной восьмерки) и располагаются под углами 120°. Одна из изменившихся орбиталей перекрывается с аналогичной орбиталью другого атома Карбона:



Третьи *p*-орбитали двух атомов Карбона сохраняют форму и ориентацию в пространстве. Их взаимное перекрывание происходит на двух участках — над и под линией, соединяющей центры атомов Карбона:

[1] Простую связь называют σ-связью (σ читается «сигма»).

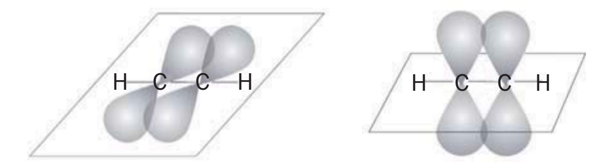


Таким образом, двойная связь C=C имеет две неодинаковые составляющие; одной из них является простая связь. Вторая составляющая[1] может легко разрушаться при химических реакциях (§ 9).

Подобные изменения орбиталей атома Карбона, но лишь двух (2*s* и 2*p*), происходят при образовании тройной связи C≡C, которая имеется в молекулах этина C_2H_2 и его гомологов. Эти орбитали, изменив свои формы на одинаковую (несимметричной восьмерки), ориентируются под углом 180°. Два электрона каждого атома Карбона находятся в измененных орбиталях и принимают участие в образовании двух простых связей; одна из них реализуется между атомами Карбона:



Два других электрона каждого атома Карбона остаются в двух *p*-орбиталях и обуславливают вторую и третью составляющие тройной связи C≡C:



Каждая из этих составляющих уступает по прочности простой связи. Поэтому этин C_2H_2 (HC≡CH) в соответствующих химических реакциях превращается в насыщенные органические соединения (§ 10).

[1] Ее название — π-связь.

Таким образом, связи С=С и С≡С образованы разными составляющими[1].

Полярность связи. Эта характеристика ковалентной связи зависит от электроотрицательности атомов. Вы знаете, что связь между одинаковыми атомами является неполярной, а между разными — как правило, полярной. Во втором случае одна или несколько общих электронных пар смещены к атому более электроотрицательного элемента. Он приобретает частичный отрицательный заряд (δ−), а другой атом — частичный положительный заряд (δ+). Направление смещения электронной пары (или электронной плотности) указывают стрелкой:

```
    H                 H
    |δ+  δ−           |
H − C − Cl        H − C → Cl
    |                 |
    H                 H
```

Чем больше разность электроотрицательностей атомов, тем более полярной является связь между ними. Значительная полярность связи О–Н в молекуле уксусной кислоты CH_3COOH обуславливает ее электролитическую диссоциацию в водном растворе.

Ионная связь. Вам известно, что ионы с противоположными зарядами соединяются друг с другом. Так возникает ионная связь. Она обладает достаточной прочностью.

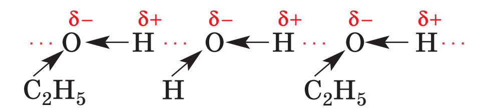
Органических веществ, состоящих из ионов, очень мало. Почти все они являются солями. Среди них — соли карбоновых кислот (§ 19), аминокислот (§ 28). Органические соединения, имеющие ионное строение, — твердые вещества. Большинство из них растворяется в воде.

Водородная связь. Этот тип химической связи реализуется между молекулами, в которых атомы Гидрогена соединены с атомами наиболее электроотрицательных элементов — Флуора, Оксигена, Нитрогена. Вы знаете, что

---

[1] Двойная связь состоит из σ- и π-связи, а тройная — из σ-связи и двух π-связей.

водородные связи существуют между молекулами воды, спирта, уксусной кислоты, а также в водном растворе между молекулами воды и молекулами любого из названных веществ. Эту связь обозначают тремя точками между соответствующими атомами:



Хотя водородная связь значительно слабее ковалентной или ионной, она существенно влияет на физические свойства веществ. Кроме того, связь этого типа играет важную роль в формировании особого строения молекул белков.

ВЫВОДЫ

Характерной для органических веществ является ковалентная связь. Она образуется вследствие объединения неспаренных электронов двух атомов в общие электронные пары.

Атомы Карбона могут соединяться с другими атомами простой, двойной, тройной ковалентной связью. В молекулах органических веществ имеются как полярные, так и неполярные ковалентные связи.

Ионная связь реализуется в солях органических кислот, а водородная — в спиртах, карбоновых кислотах, белках.



13. Назовите типы химической связи, реализуемые в органических соединениях.
14. Объясните, как образуется между атомами Карбона:
    а) простая ковалентная связь;
    б) двойная ковалентная связь;
    в) тройная ковалентная связь.
15. Охарактеризуйте ковалентные связи в молекуле пропена C_3H_6.
16. Полярность какой связи наибольшая, а какой — наименьшая: C–Cl, C–O, C–F, C–S?

17. В приведенном перечне укажите вещества с ионной связью: бромометан, гидроген хлорид, кальций хлорид, уксусная кислота, натрий ацетат, этанол.
18. Чем отличается водородная связь от ковалентной? Изобразите два варианта соединения молекулы воды с молекулой метанола CH_3OH водородной связью.

4 Решение задач на выведение химической формулы вещества (I)

Материал параграфа поможет вам:

- вывести формулу вещества по массовым долям элементов;
- выяснить отличие истинной формулы вещества от простейшей.

В параграфе рассмотрены несколько типичных задач на выведение формул органических соединений по массовым долям элементов. Способы их решения можно применять и для неорганических веществ.

Решать задачи не обязательно так, как предложено в учебнике; вы можете выбрать для этого собственный путь.

Первые две задачи довольно простые и предусматривают применение знаний и умений, приобретенных вами ранее.

ЗАДАЧА 1. Вывести формулу оксигенсодержащего органического соединения, если массовая доля Карбона в нем равна 37,5 %, а Гидрогена — 12,5 %.

Дано:	*Решение*
$C_xH_yO_z$ $w(C) = 37{,}5\ \%$ $w(H) = 12{,}5\ \%$	1. Определяем массовую долю Оксигена в соединении:
$C_xH_yO_z$ — ?	$$w(O) = 100\ \% - w(C) - w(H) = 100\ \% - 37{,}5\ \% - 12{,}5\ \% = 50{,}0\ \%.$$

2. Рассчитываем соотношение количеств вещества элементов в соединении, а следовательно, и соотношение значений соответствующих индексов в его формуле.

   Пусть масса оксигенсодержащего органического соединения составляет 100 г. Тогда масса Карбона в нем равна 37,5 г, Гидрогена — 12,5 г, а Оксигена — 50,0 г.

$$x : y : z = n(C) : n(H) : n(O) =$$

$$= \frac{m(C)}{M(C)} : \frac{m(H)}{M(H)} : \frac{m(O)}{M(O)} =$$

$$= \frac{37{,}5}{12} : \frac{12{,}5}{1} : \frac{50{,}0}{16} = 3{,}125 : 12{,}5 : 3{,}125.$$

3. Находим формулу соединения.

   Индексы в химической формуле должны быть целыми числами, часто — наименьшими из всех возможных. Учитывая это, делим все числа в полученном соотношении на наименьшее (3,125). Получаем:

$$x : y : z = 1 : 4 : 1.$$

   Формула соединения — CH_4O. Такую формулу имеет метанол CH_3OH.

Ответ: **CH_3OH.**

Если при решении аналогичных задач окажется, например, что соотношение индексов в химической формуле составляет 1,0 : 1,5, то каждое число нужно умножить на 2 (индексы будут равны 2 и 3), а если — соотношение 1,00 : 1,33 или 1,00 : 2,66, умножьте числа на 3 (получите индексы 3 и 4 или 3 и 8).

ЗАДАЧА 2. Вывести формулу углеводорода, в котором массовая доля Гидрогена равна 18,2 %.

Дано:

C_xH_y

$w(H) = 18{,}2\ \%$

C_xH_y — ?

Решение

1. Определяем массовую долю Карбона в соединении:

$$w(C) = 100\ \% - w(H) =$$
$$= 100\ \% - 18{,}2\ \% = 81{,}8\ \%.$$

Следовательно, в каждых 100 г вещества содержится 81,8 г Карбона и 18,2 г Гидрогена.

2. Вычисляем соотношение индексов в формуле углеводорода (соотношение количеств вещества элементов):

$$x : y = n(C) : n(H) =$$
$$= \frac{m(C)}{M(C)} : \frac{m(H)}{M(H)} = \frac{81{,}8}{12} : \frac{18{,}2}{1} =$$
$$= 6{,}82 : 18{,}2.$$

3. Находим формулу соединения.

Делим оба числа в полученном соотношении на наименьшее (6,82). Получаем:

$$x : y = 1 : 2{,}67.$$

Для того чтобы в соотношении были наименьшие целые числа, умножаем оба числа на 3:

$$x : y = (1 \cdot 3) : (2{,}67 \cdot 3) =$$
$$= 3 : 8{,}01 \approx 3 : 8.$$

Формула углеводорода — C_3H_8. Такую формулу имеет пропан.

Ответ: C_3H_8.

По массовым долям элементов в веществе находят его *простейшую* химическую формулу, в которой индексы являются наименьшими из всех возможных. Для таких веществ, как, например, метан CH_4, эта формула в то же время является *истинной*. Простейшая формула этина — CH, а истинная — C_2H_2. Для определения истинной формулы вещества необходимо дополнительно знать его молярную массу или располагать другими данными (§ 7).

ЗАДАЧА 3. Найти формулу углеводорода, если массовая доля Карбона в нем составляет 85,7 %, а молярная масса — 56 г/моль.

Дано:

C_xH_y

$w(C) =$
$= 85{,}7$ %

Решение

1-й способ

1. Определяем массовую долю Гидрогена в соединении:

$M(C_xH_y) =$ $= 56$ г/моль	$w(H) = 100\ \% - w(C) =$ $= 100\ \% - 85{,}7\ \% = 14{,}3\ \%.$
C_xH_y — ?	

Таким образом, в каждых 100 г соединения содержится 85,7 г Карбона и 14,3 г Гидрогена.

2. Рассчитываем соотношение индексов в формуле углеводорода (соотношение количеств вещества элементов):

$$x : y = n(C) : n(H) =$$
$$= \frac{m(C)}{M(C)} : \frac{m(H)}{M(H)} = \frac{85{,}7}{12} : \frac{14{,}3}{1} =$$
$$= 7{,}14 : 14{,}3 \approx 1 : 2.$$

Углеводорода с формулой CH_2 не существует; полученная формула является простейшей, но не истинной.

3. Находим истинную формулу соединения C_xH_y. Она кратна простейшей: $C_xH_y => (CH_2)_z$.

$$M(C_xH_y) = M[(CH_2)_z] = zM(CH_2) = 56 \text{ г/моль}.$$

Отсюда
$$z = \frac{M(C_xH_y)}{M(CH_2)} = \frac{56}{14} = 4.$$

Истинная формула соединения — $(CH_2)_4$, или C_4H_8.

2-й способ

1. Определяем массу Карбона в 1 моль углеводорода, т. е. в 56 г соединения, используя массовую долю элемента:

$$m(C) = 56 \text{ г} \cdot 0{,}857 = 48 \text{ г}.$$

2. Находим количество вещества Карбона в 1 моль углеводорода:

$$n(C) = \frac{m(C)}{M(C)} = \frac{48}{12} = 4 \text{ (моль)}.$$

3. Вычисляем массу и количество вещества Гидрогена в 1 моль углеводорода:

$$m(H) = 56 \text{ г} - 48 \text{ г} = 8 \text{ г};$$
$$n(H) = \frac{m(H)}{M(H)} = \frac{8}{1} = 8 \text{ (моль)}.$$

Формула углеводорода — C_4H_8.

Ответ: **C_4H_8.**

ВЫВОДЫ

Формулу органического вещества можно вывести по массовым долям элементов. Найденная таким способом формула является простейшей. Для превращения ее в истинную формулу используют дополнительные данные о веществе, в частности — его молярную массу.

?

19. Что такое простейшая формула, истинная формула вещества? Приведите пример углеводорода, для которого эти формулы: а) различны; б) одинаковы.
20. По результатам химического анализа углеводорода получили формулу CH_3. Какова истинная формула этого вещества?
21. Выведите формулу простейшего по составу нитрогенсодержащего органического соединения, если массовая доля Карбона в нем равна 38,71 %, а Гидрогена — 16,13 %. Изобразите структурную формулу молекулы соединения.
22. Какова формула углеводорода, если массовая доля Карбона в нем 84 %?
23. Найдите формулу углеводорода, в котором соотношение масс Карбона и Гидрогена составляет: а) 3 : 1; б) 4 : 1. (Устно.)
24. Выполните расчеты для углеводорода и заполните таблицу:

E	*w*(*E*) в %, или *m*(*E*) в 100 г соединения, г	*M*(*E*), г/моль	$\frac{m(E)}{M(E)}$, или *n*(*E*), моль	*n*(C) : *n*(H)	Множитель	Индексы в формуле	Простейшая формула
C	83,7			1 : ...	3		
H							

Существует ли вещество с выведенной простейшей формулой? Если нет, то какова его истинная формула?

25. Выведите формулу соединения, если его молекула содержит атом Карбона, атом элемента VI группы и атомы Гидрогена, а массовые доли первых двух элементов равны соответственно: а) 3/8 и 1/2; б) 1/4 и 2/3. Изобразите структурные формулы молекул веществ.
26. Составьте задачу на выведение формулы уксусной кислоты по массовым долям элементов. Следует ли ввести в условие задачи значение молярной массы соединения? Ответ обоснуйте.

2 раздел
Углеводороды

Этот раздел посвящен углеводородам — соединениям Карбона с Гидрогеном. Такие соединения содержатся в природном газе, нефти. Они служат топливом, горючим, сырьем для различных производств.

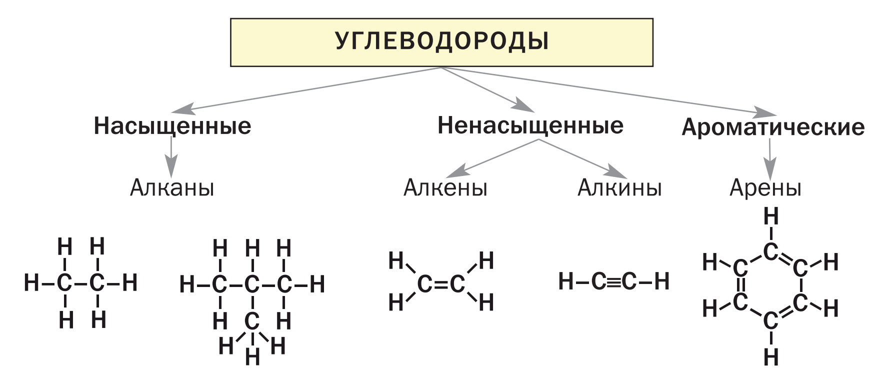
Углеводороды являются основой органической химии. Одно из определений этой области химической науки таково: *органическая химия — химия углеводородов и их производных*. Производными называют продукты замещения атомов Гидрогена в молекулах углеводородов на атомы других элементов или группы соединенных атомов (–OH, –COOH, $-NH_2$ и др.).

Углеводороды C_nH_m

Общая формула углеводородов — C_nH_m. Эти вещества делят на две группы — с открытой и замкнутой карбоновой цепью в молекулах. Существует также их деление по особенностям связи между атомами Карбона (схема 3).

Схема 3

Классификация углеводородов по особенностям связи между атомами Карбона



5 Алканы

Материал параграфа поможет вам:

- выяснить, какие углеводороды называют алканами;
- получить сведения об изомерии алканов;
- составлять структурные формулы молекул алканов;
- называть алканы по правилам систематической номенклатуры.

Состав молекул. Вы знаете, что простейшим насыщенным углеводородом является метан CH_4 (рис. 2, 4). С него начинается гомологический ряд, к которому относятся вещества с формулами C_2H_6, C_3H_8 и многие другие. Вам известно, что гомологический ряд — это ряд органических соединений, молекулы которых подобны по строению и различаются на одну или несколько групп атомов CH_2 (так называемая гомологическая разность).

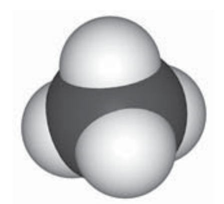


Рис. 4. Масштабная модель молекулы метана

Насыщенные углеводороды с открытой карбоновой цепью в молекулах называют *алканами*.

Алканы C_nH_{2n+2}

Общая формула алканов — $\mathbf{C_nH_{2n+2}}$ (n = 1, 2, ...). В молекулах этих углеводородов все атомы соединены простой ковалентной связью, а углы между линиями, соединяющими центры соседних атомов, равны 109,5°. Углеводороды CH_4, C_2H_6, C_3H_8 и другие аналогичные вещества являются гомологами и образуют гомологический ряд алканов.

Изомерия. Для алканов, кроме метана CH_4, этана C_2H_6 и пропана C_3H_8, существуют изомеры.

▶ Какие вещества называют изомерами?

Формулу C_4H_{10} имеют два алкана. Молекула одного из них содержит неразветвленную карбоновую цепь, а другого — разветвленную (рис. 5):

$$CH_3-CH_2-CH_2-CH_3 \qquad \begin{array}{c} CH_3-CH-CH_3 \\ | \\ CH_3 \end{array}$$

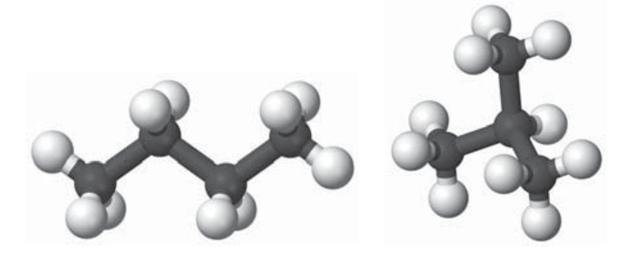


Рис. 5. Шаростержневые модели молекул изомерных алканов C_4H_{10}

Известны три алкана с формулой C_5H_{12}, пять — с формулой C_6H_{14}, девять — с формулой C_7H_{16}, а количество изомеров, имеющих формулу $C_{10}H_{22}$, достигает 75. Таким образом, с увеличением числа атомов Карбона в молекулах алканов количество изомеров существенно возрастает.

Молекулы изомерных алканов различаются последовательностью соединения атомов Карбона. Эти вещества являются структурными изомерами (§ 2) и имеют разные физические свойства. Например, температура кипения бутана с неразветвленными молекулами равна −0,5 °C, а его изомера с разветвленными молекулами −11,7 °C. Существуют отличия и в химических свойствах изомеров.

Названия. В соответствии с систематической номенклатурой органических соединений названия всех алканов имеют суффикс *-ан*.

Это интересно
А. М. Бутлеров предвидел существование изобутана и получил это вещество в 1866 г.

Для первых четырех веществ этого гомологического ряда используют традиционные названия: мет*ан*, эт*ан*, проп*ан*, бут*ан*. Основу названий остальных алканов составляют иноязычные числительные (греческие, латинские), указывающие на количество атомов Карбона в молекулах: C_5H_{12} — пент*ан*, C_6H_{14} — гекс*ан*, C_7H_{16} — гепт*ан*, C_8H_{18} — окт*ан*, C_9H_{20} — нон*ан*, $C_{10}H_{22}$ — дек*ан*.

Если молекула имеет неразветвленное («нормальное») строение, то перед названием алкана часто записывают букву *н* с дефисом (табл. 1). Например, соединение с формулой $CH_3–CH_2–CH_2–CH_3$ называют *н*-бутаном. Изомер, формула которого — $CH_3–\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}–CH_3$, получил название «изобутан».

Таблица 1

Алканы

Название	**Формула**	
	химическая	**структурная** (сокращенная)
Мет*ан*	CH_4	CH_4
Эт*ан*	C_2H_6	$CH_3–CH_3$
Проп*ан*	C_3H_8	$CH_3–CH_2–CH_3$
н-Бут*ан*	C_4H_{10}	$CH_3–CH_2–CH_2–CH_3$
н-Пент*ан*	C_5H_{12}	$CH_3–CH_2–CH_2–CH_2–CH_3$
н-Гекс*ан*	C_6H_{14}	$CH_3–CH_2–CH_2–CH_2–CH_2–CH_3$
н-Гепт*ан*	C_7H_{16}	$CH_3–CH_2–CH_2–CH_2–CH_2–CH_2–CH_3$
н-Окт*ан*	C_8H_{18}	$CH_3–CH_2–CH_2–CH_2–CH_2–CH_2–CH_2–CH_3$
н-Нон*ан*	C_9H_{20}	$CH_3–CH_2–CH_2–CH_2–CH_2–CH_2–CH_2–CH_2–CH_3$
н-Дек*ан*	$C_{10}H_{22}$	$CH_3–CH_2–CH_2–CH_2–CH_2–CH_2–CH_2–CH_2–CH_2–CH_3$

При составлении названий изомеров используют понятие «заместитель». *Заместитель — атом*[1] *или группа атомов, являющиеся ответвлением в карбоновой цепи*. Общее обозначение заместителя — ***R***.

[1] Кроме атома Гидрогена.

Формула с обозначением заместителя

$$\begin{array}{ccccc} & H_2 & & R & \\ & C & & | & \\ & & & CH & \\ H_3C & & C & & CH_3 \\ & & H_2 & & \end{array}$$

Если заместитель состоит из атомов Карбона и Гидрогена, его называют *углеводородным остатком*. Формулу такого заместителя можно получить, удалив атом Гидрогена из формулы углеводорода. Название заместителя происходит от названия углеводорода и имеет суффикс *-ил*: мет*ил* CH_3-, эт*ил* CH_3-CH_2-, проп*ил* $CH_3-CH_2-CH_2-$. Общая формула этих и других аналогичных заместителей $C_nH_{2n+1}-$.

Заместителем в молекуле изобутана $CH_3-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}-CH_3$ является группа атомов CH_3-, а молекула $CH_3-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}-\underset{\displaystyle C_2H_5}{\underset{|}{CH}}-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}-CH_3$ содержит три заместителя — группу атомов C_2H_5- и две группы CH_3-.

Существуют правила и рекомендации по составлению систематических названий алканов с разветвленной цепью в молекулах.

Правила составления названий алканов разветвленного строения

1. В молекуле алкана выбирают наиболее длинную (главную) карбоновую цепь и нумеруют в ней атомы Карбона. Нумерацию начинают с того конца цепи, к которому ближе находится заместитель (заместители).
2. Определяют название каждого заместителя.
3. Названия заместителей размещают по алфавиту в начале названия вещества. Перед названием каждого заместителя через дефис указывают номер атома Карбона, с которым соединен заместитель. Последним записывают название алкана неразветвленного строения, в молекуле которого имеется столько атомов Карбона, сколько их в главной цепи.
4. При наличии нескольких одинаковых заместителей указывают их количество, добавляя к названию заместителя приставку (ди-, три-, тетра- и т. д.), а перед ней записывают номера соответствующих атомов Карбона, разделенные запятыми.

В соответствии с приведенными выше правилами систематическое название углеводорода,

структурная формула молекулы которого

$$\overset{1}{C}H_3-\underset{\large CH_3}{\overset{2}{C}H}-\underset{\large C_2H_5}{\overset{3}{C}H}-\underset{\large CH_3}{\overset{4}{C}H}-\overset{5}{C}H_3,$$

— 2,4-диметил-3-этилпентан.

УПРАЖНЕНИЕ 1. Составить структурные формулы молекул изомерных алканов C_6H_{14} и назвать углеводороды.

Решение

Определяем варианты соединения шести атомов Карбона. Количество вариантов будет равно количеству изомерных алканов C_6H_{14}.

1. Соединяем атомы Карбона в неразветвленную цепь и добавляем атомы Гидрогена, помня, что Карбон четырехвалентен:

$$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3.$$

Название соответствующего алкана — *н*-гексан.

2. Делаем цепь разветвленной, переместив первый атом Карбона к третьему:

$$Ⓒ-C-C-C-C-C \Rightarrow C-\underset{\large C}{C}-C-C-C.$$

В наиболее длинной карбоновой цепи имеется пять атомов Карбона. Нумеруем их с того конца цепи, к которому ближе расположен заместитель, и дописываем атомы Гидрогена:

$$\overset{1}{C}H_3-\underset{\large CH_3}{\overset{2}{C}H}-\overset{3}{C}H_2-\overset{4}{C}H_2-\overset{5}{C}H_3.$$

Название алкана — 2-метилпентан.

3. Формулу еще одного изомера получаем, переместив первый атом Карбона к четвертому:

$$Ⓒ-C-C-C-C-C \Rightarrow C-C-\underset{\large C}{C}-C-C.$$

Нумеруем атомы Карбона и добавляем атомы Гидрогена:

$$\overset{1}{C}H_3-\overset{2}{C}H_2-\underset{\large CH_3}{\overset{3}{C}H}-\overset{4}{C}H_2-\overset{5}{C}H_3.$$

Название алкана — 3-метилпентан.

4. В молекулах двух следующих изомеров два заместителя $-CH_3$ соединяются с одним или разными атомами Карбона; в обоих случаях главная карбоновая цепь состоит из 4-х атомов:

$$\overset{1}{\mathrm{CH_3}}-\underset{\underset{\mathrm{CH_3}}{|}}{\overset{\overset{\mathrm{CH_3}}{|\,2}}{\mathrm{C}}}-\overset{3}{\mathrm{CH_2}}-\overset{4}{\mathrm{CH_3}} \qquad \overset{1}{\mathrm{CH_3}}-\underset{\underset{\mathrm{CH_3}}{|}}{\overset{2}{\mathrm{CH}}}-\underset{\underset{\mathrm{CH_3}}{|}}{\overset{3}{\mathrm{CH}}}-\overset{4}{\mathrm{CH_3}}.$$

Названия алканов — 2,2-диметилбутан и 2,3-диметилбутан соответственно.

Таким образом, формулу C_6H_{14} имеют пять изомеров: *н*-гексан, 2-метилпентан, 3-метилпентан, 2,2-диметилбутан и 2,3-диметилбутан.

В названиях некоторых углеводородов с разветвленными молекулами цифры перед заместителями обычно не указывают. Например, для изобутана $\mathrm{CH_3}-\underset{\underset{\mathrm{CH_3}}{|}}{\mathrm{CH}}-\mathrm{CH_3}$ чаще всего используют название *метилпропан,* а не 2-метилпропан.

Выполним противоположное задание — составим формулу вещества по его названию.

УПРАЖНЕНИЕ 2. Составить формулу алкана, название которого — 2,2-диметил-4-этилгептан.

Решение

Записываем цепь из семи атомов Карбона (она имеется в молекуле *н*-гептана) и нумеруем атомы в ней:

$$\overset{1}{\mathrm{C}}-\overset{2}{\mathrm{C}}-\overset{3}{\mathrm{C}}-\overset{4}{\mathrm{C}}-\overset{5}{\mathrm{C}}-\overset{6}{\mathrm{C}}-\overset{7}{\mathrm{C}}.$$

Ко второму атому Карбона присоединяем два заместителя CH_3–, а к четвертому — заместитель C_2H_5–:

$$\overset{1}{\mathrm{C}}-\underset{\underset{\mathrm{CH_3}}{|}}{\overset{\overset{\mathrm{CH_3}}{|\,2}}{\mathrm{C}}}-\overset{3}{\mathrm{C}}-\underset{\underset{\mathrm{C_2H_5}}{|}}{\overset{4}{\mathrm{C}}}-\overset{5}{\mathrm{C}}-\overset{6}{\mathrm{C}}-\overset{7}{\mathrm{C}}.$$

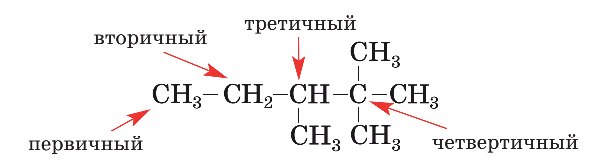
Дописываем к атомам Карбона главной цепи необходимое количество атомов Гидрогена и получаем формулу алкана:

$$\overset{1}{\mathrm{CH_3}}-\underset{\underset{\mathrm{CH_3}}{|}}{\overset{\overset{\mathrm{CH_3}}{2|}}{\mathrm{C}}}-\overset{3}{\mathrm{CH_2}}-\underset{\underset{\mathrm{C_2H_5}}{|}}{\overset{4}{\mathrm{CH}}}-\overset{5}{\mathrm{CH_2}}-\overset{6}{\mathrm{CH_2}}-\overset{7}{\mathrm{CH_3}}.$$

Заместителями в молекулах органических соединений могут быть атомы галогенов —

F, Cl, Br, I. Примеры названий и формул таких веществ: иодометан CH_3I, дибромометан CH_2Br_2, 2-хлоропропан $CH_3-\underset{\displaystyle Cl}{\underset{|}{CH}}-CH_3$.

В молекулах алканов атомы Карбона могут быть соединены с разным количеством атомов этого элемента. Если атом Карбона связан с одним таким же атомом, его называют *первичным*, если с двумя — *вторичным*, с тремя или четырьмя — *третичным* или *четвертичным* соответственно:



В неразветвленной карбоновой цепи имеются только первичные (на ее концах) и вторичные атомы Карбона.

ВЫВОДЫ

Насыщенные углеводороды с открытой карбоновой цепью в молекулах называют алканами. Их общая формула — C_nH_{2n+2}.

Почти для всех алканов существуют структурные изомеры; их молекулы различаются строением карбоновой цепи.

Названия алканов содержат суффикс *-ан*. Для первых четырех соединений гомологического ряда используют традиционные названия: метан, этан, пропан, бутан. Основу названий остальных алканов составляют иноязычные числительные. Алканы с молекулами разветвленного строения называют в соответствии с правилами систематической номенклатуры.



27. Среди приведенных формул укажите формулы алканов: CH_4, C_3H_6, C_6H_{12}, C_7H_{16}, C_8H_{18}.

28. Назовите алканы, которые не имеют изомеров.
29. Составьте структурные формулы молекул алканов, имеющих такие названия:
   а) 3-метилгексан;
   б) 3,4-диэтилгептан;
   в) 2-метил-3-этилгептан.
30. Изобразите структурные формулы молекул всех изомерных алканов C_5H_{12} и назовите соединения.
31. Найдите соответствие:

Формула молекулы

1) $CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$;

2) $$\begin{array}{ccccccccc} CH_3 & - & CH & - & CH & - & CH & - & CH_3; \\ & & | & & | & & | & & \\ & & CH_3 & & CH_3 & & CH_3 & & \end{array}$$

3) $$\begin{array}{ccccccc} & & CH_3 & & & & CH_3 \\ & & | & & & & | \\ CH_3 & - & C & - & CH_2 & - & CH_2; \\ & & | & & & & \\ & & CH_3 & & & & \end{array}$$

4) $$\begin{array}{ccccccc} CH_3 & - & CH & - & CH & - & CH_3; \\ & & | & & | & & \\ & & CH_3 & & CH_2 & & \\ & & & & | & & \\ & & & & CH_3 & & \end{array}$$

Название алкана

а) 2,3-диметилпентан;
б) *н*-пентан;
в) 2,3,4-триметилпентан;
г) 2,2-диметилпентан.

32. Составьте структурные формулы молекул изомеров C_8H_{18}, в которых главная карбоновая цепь содержит шесть атомов Карбона.
33. Какие углеводороды в приведенном перечне являются изомерами: 2-метил-3-этилпентан; 2,2,3-триметилпентан; 3,3-диэтилпентан?
34. Вычислите плотность бутана (н. у.) и его относительную плотность по водороду. Почему в условии задачи не указан конкретный изомер углеводорода?
35. Составьте структурную формулу алкана с четвертичным атомом Карбона в молекуле, если молярная масса соединения равна 72 г/моль.



6 Свойства алканов

Материал параграфа поможет вам:

- выяснить зависимость физических свойств алканов от состава молекул;
- узнать о некоторых химических свойствах алканов.

Физические свойства. Алканы с небольшим количеством атомов Карбона в молекулах в обычных условиях[1] являются газами. Это — метан, этан, пропан, бутан, изобутан и диметилпропан. Алканы с молекулами неразветвленного строения, содержащими от 5 до 16 атомов Карбона, — жидкости, остальные — твердые вещества. Смесью твердых алканов C_nH_{2n+2} ($n \geq 18$) является парафин.

Алканы — бесцветные, а в твердом состоянии — белые вещества. Запах имеют только жидкие алканы; его называют «бензиновым».

Температуры плавления и кипения алканов с увеличением количества атомов Карбона в молекулах возрастают.

При нормальном давлении метан CH_4 плавится и закипает при температурах –182,5 и –161,6 °С соответственно, н-бутан C_4H_{10} — при –138,3 и –0,5 °С, а н-октан C_8H_{18} — при –56,8 и +125,7 °С.

Зависимость температур кипения алканов от их молекулярной массы объясняют так. Чем тяжелее молекула, тем бо́льшую энергию ей необходимо сообщить (т. е. нагреть вещество до более высокой температуры), чтобы частица покинула жидкость (вещество при этом переходит в газообразное состояние).

Алканы легче воды. Поскольку молекулы алканов неполярны, эти соединения растворяются в органических растворителях, но нерастворимы в воде (рис. 6).

Химические свойства. Все алканы являются химически пассивными веществами. В определенных условиях они вступают в реакции замещения, разлагаются, превращаются в изомеры. Алканы — горючие вещества.

---

[1] Обычными условиями принято считать температуру +20 °С и давление 760 мм рт. ст.



Рис. 6. Парафин не растворяется в воде

Реакции замещения. На свету либо при повышенной температуре (250—400 °C) алканы взаимодействуют с хлором или бромом. В таких реакциях атомы Гидрогена в молекулах углеводородов замещаются на атомы галогенов. Взаимодействие органического вещества с галогеном называют реакцией *галогенирования*.

В реакции метана с хлором сначала образуется хлорометан

$$CH_4 + Cl_2 \xrightarrow{h\nu \text{ или } t} CH_3Cl + HCl$$

$$\left(\text{или}\ \ H-\underset{\displaystyle H}{\overset{\displaystyle H}{\underset{|}{\overset{|}{C}}}}-\boxed{H\ +\ Cl}-Cl \xrightarrow{h\nu \text{ или } t} H-\underset{\displaystyle H}{\overset{\displaystyle H}{\underset{|}{\overset{|}{C}}}}-Cl\ +\ HCl\right),$$

затем — дихлорометан

$$CH_3Cl + Cl_2 \xrightarrow{h\nu \text{ или } t} CH_2Cl_2 + HCl$$

$$\left(\text{или}\ \ H-\underset{\displaystyle Cl}{\overset{\displaystyle H}{\underset{|}{\overset{|}{C}}}}-\boxed{H\ +\ Cl}-Cl \xrightarrow{h\nu \text{ или } t} H-\underset{\displaystyle Cl}{\overset{\displaystyle H}{\underset{|}{\overset{|}{C}}}}-Cl\ +\ HCl\right).$$

Процесс может протекать до полного замещения атомов Гидрогена. Поэтому хлорирование метана часто иллюстрируют схемой

$$\underset{\text{метан}}{CH_4} \xrightarrow[-HCl]{+Cl_2} \underset{\text{хлорометан}}{CH_3Cl} \xrightarrow[-HCl]{+Cl_2} \underset{\text{дихлорометан}}{CH_2Cl_2} \xrightarrow[-HCl]{+Cl_2} \underset{\text{трихлорометан}}{CHCl_3} \xrightarrow[-HCl]{+Cl_2} \underset{\text{тетрахлорометан}}{CCl_4}.$$

В этой схеме над каждой стрелкой указана формула реагента (со знаком «плюс»), а под

стрелкой — формула «второстепенного» продукта реакции — хлороводорода (со знаком «минус»).

▶ Напишите уравнения соответствующих реакций с образованием трихлорометана и тетрахлорометана.

Получить взаимодействием метана с хлором какое-либо одно органическое соединение не удается; в реакционной смеси всегда содержится несколько хлоропроизводных углеводорода.

Хлорирование этана начинается в соответствии с уравнением

$$CH_3{-}CH_3 + Cl_2 \xrightarrow{h\nu \text{ или } t} CH_3{-}CH_2Cl + HCl$$

$$(\text{или } C_2H_6 + Cl_2 \xrightarrow{h\nu \text{ или } t} C_2H_5Cl + HCl).$$

Возможно замещение и других атомов Гидрогена на атомы Хлора.

Это интересно
Полностью заместить атомы Гидрогена на атомы Хлора можно в молекулах не только метана, но и этана, пропана.

В начале взаимодействия пропана с хлором образуется смесь таких соединений:

$$\underset{\text{1-хлоропропан}}{CH_3{-}CH_2{-}CH_2Cl} \qquad \underset{\text{2-хлоропропан}}{CH_3{-}\underset{\displaystyle Cl}{\underset{|}{C}H}{-}CH_3}$$

С фтором алканы реагируют со взрывом; при этом связи C–C разрываются и образуются карбон фторид CF_4 и гидроген фторид HF. Реакции алканов с иодом не происходят.

Термическое разложение. При сильном нагревании в отсутствие воздуха (кислорода) алканы разлагаются. В результате таких реакций образуются насыщенные и ненасыщенные углеводороды, а также водород:

$$CH_3{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_3 \xrightarrow{t} CH_3{-}CH_3 + CH_2{=}CH_2;$$

$$2CH_4 \xrightarrow{1500\ °C} HC{\equiv}CH + 3H_2.$$

Изомеризация. В определенных условиях алканы неразветвленного строения превращаются в изомеры с разветвленной карбоновой цепью в молекулах:

$$CH_3-CH_2-CH_2-CH_3 \xrightarrow{t,\,p,\,AlCl_3} CH_3-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}-CH_3.$$

н-бутан изобутан

Реакции, при которых образуются изомеры исходных соединений в результате перегруппировки атомов в молекулах[1], называют *реакциями изомеризации*.

Реакции окисления. Алканы при поджигании горят с образованием углекислого газа и водяного пара; при этом выделяется большое количество теплоты:

$$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O;\ \Delta H = -803\ кДж.$$

При недостатке воздуха (кислорода) среди продуктов реакции появляются угарный газ и углерод.

▶ Напишите уравнения реакций горения этана в избытке кислорода и при его недостатке (с образованием карбон(II) оксида).

Смеси метана, других газообразных алканов, а также паров жидких алканов с воздухом взрывоопасны. Пользуясь природным газом, нужно быть очень осторожными. Взрыв может произойти уже при объемной доле метана в воздухе 5 %. Необходимо также помнить, что газ, вытекая из поврежденного вентиля бытовой плиты, может вызвать серьезное отравление.

ВЫВОДЫ

Простейшие алканы в обычных условиях являются газами, другие — жидкостями или твердыми веществами. Жидкие алканы имеют характерный запах. Алканы растворяются в органических растворителях. Температуры плавления и

[1] Или перемещення кратных связей.

кипения этих соединений с увеличением их относительной молекулярной массы возрастают.

Все алканы химически пассивны. В определенных условиях они вступают в реакции замещения, при нагревании без доступа воздуха разлагаются либо превращаются в изомеры. Алканы — горючие вещества.

?

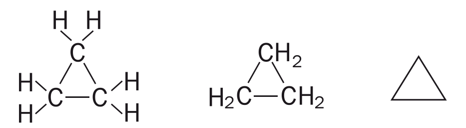
36. Как влияет состав молекул алканов на физические свойства веществ?
37. Используя значения температур кипения метана, этана, пропана и *н*-бутана, приведенные в параграфе и найденные вами в интернете, постройте график зависимости этого физического свойства алканов от молярной массы вещества. Прокомментируйте график.
38. Напишите уравнения реакций, протекающих при бромировании метана.
39. Допишите химические уравнения:
    а) ... + $11O_2 \rightarrow 7CO_2$ + ...H_2O;
    б) $C_3H_8 \xrightarrow{t} CH_4$ + ...
40. Какой объем воздуха (н. у.) необходим для сжигания 10 л пентана, имеющего плотность 0,626 г/см^3? Примите объемную долю кислорода в воздухе равной 20 %.
41. При полном сгорании 1 моль пропана выделяется 2200 кДж теплоты, а 1 моль *н*-бутана — 2880 кДж. Составьте термохимические уравнения реакций горения этих соединений.
42. В баллоне содержится 20 кг смеси пропана и бутана. Массовая доля пропана в смеси равна 22 %. Вычислите среднюю молярную массу смеси этих газов.

ДЛЯ ЛЮБОЗНАТЕЛЬНЫХ

Циклоалканы

Среди насыщенных углеводородов есть большая группа веществ с молекулами циклического строения. Их называют *циклоалканами*. Они в небольшом количестве вместе с другими углеводородами находятся в нефти.

В цикл могут соединиться минимум три атома Карбона (рис. 7). Полная и сокращенные структурные формулы молекулы соответствующего насыщенного углеводорода:



Химическая формула этого соединения — C_3H_6.

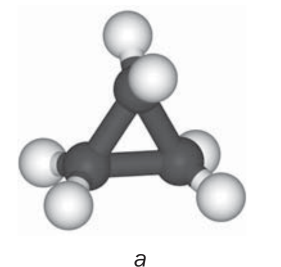




Рис. 7. **Модели молекулы простейшего циклоалкана:** ***а*** **— шаростержневая;** ***б*** **— масштабная**

а *б*

Известны циклоалканы с различным количеством атомов Карбона, объединенных в цикл, а также такие, в молекулах которых имеются углеводородные заместители.

Название циклоалкана состоит из названия алкана с таким же количеством атомов Карбона в молекуле и приставки *цикло-*. Например, углеводород с циклической молекулой C_3H_6 называют *циклопропаном*, а C_4H_8 — *циклобутаном*.

Если в молекуле циклоалкана имеется заместитель, то его название указывают в начале названия соединения[1]:

CH_3

метилциклобутан

Молекула циклоалкана содержит на два атома Гидрогена меньше, чем молекула алкана с таким же количеством атомов Карбона. Поэтому общая формула циклоалканов — $\mathbf{C_nH_{2n}}$ (n = 3, 4, ...). В соответствии с ней массовая доля Карбона в любом циклоалкане равна 85,7 %, а Гидрогена — 14,3 %.

Циклопропан и циклобутан в обычных условиях являются газами, другие циклоалканы — жидкости или твердые вещества. С увеличением относительной молекулярной массы соединений их температуры плавления и кипения возрастают. Циклоалканы, как и

[1] При наличии нескольких заместителей указывают их положения и названия.

алканы, нерастворимы в воде, но растворяются в органических растворителях.

По химическим свойствам циклоалканы сходны с алканами. Для них характерны реакции замещения.

Карбоновые циклы в молекулах циклопропана и циклобутана неустойчивы и в химических реакциях раскрываются. Продукты таких превращений состоят из молекул, содержащих открытые цепи из атомов Карбона.

7 Решение задач на выведение химической формулы вещества (II)

Материал параграфа поможет вам вывести формулу вещества:

- по общей формуле соответствующего гомологического ряда и молярной (относительной молекулярной) массе вещества или его плотности либо относительной плотности;
- по массам, объемам либо количествам вещества реагентов или продуктов реакции.

Химическую формулу вещества можно вывести, зная, к какому классу или группе соединений оно принадлежит и какова его относительная молекулярная или молярная масса. Молярную массу, если она не дана, рассчитывают по плотности вещества в газообразном состоянии либо относительной плотности по определенному газу:

$$\rho = \frac{M}{V_M} \quad => \quad M = \rho \cdot V_M \qquad (1)$$

$$D_A(B) = \frac{M(B)}{M(A)} \quad => \quad M(B) = D_A(B) \cdot M(A) \qquad (2)$$

Рассмотрим, как решают соответствующие задачи на выведение химических формул алканов. Таким же путем можно находить формулы ненасыщенных углеводородов, спиртов, кислот и других органических веществ, а также неорганических соединений.

ЗАДАЧА 1. Найти химическую формулу алкана, молярная масса которого равна 44 г/моль.

Дано:	Решение
$M(C_nH_{2n+2}) =$ $= 44$ г/моль	1. Выводим формулу для расчета молярной массы алкана, используя молярные массы Карбона и Гидрогена: $M(C_nH_{2n+2}) = n \cdot M(C) + (2n + 2) \cdot M(H) = 12n + 2n + 2 = 14n + 2.$
C_nH_{2n+2} — ?	2. Находим химическую формулу соединения: $14n + 2 = 44; \quad n = 3.$ Формула алкана — C_3H_8.
	Ответ: C_3H_8.

ЗАДАЧА 2. Найти химическую формулу алкана, имеющего плотность 1,34 г/л (н. у.).

Дано:	Решение
$\rho(C_nH_{2n+2}) =$ $= 1{,}34$ г/л н. у.	1. Вычисляем молярную массу соединения, используя формулу (1): $M(C_nH_{2n+2}) = \rho(C_nH_{2n+2}) \cdot V_M = 1{,}34$ г/л $\cdot$ 22,4 л/моль = 30 г/моль.
C_nH_{2n+2} — ?	2. Находим химическую формулу углеводорода по общей формуле гомологического ряда алканов: $M(C_nH_{2n+2}) = n \cdot M(C) + (2n + 2) \cdot M(H);$ $14n + 2 = 30; \quad n = 2.$ Формула алкана — C_2H_6.
	Ответ: C_2H_6.

Формулу соединения, вступающего в реакцию, можно также вывести по его количеству вещества, массе или объему и аналогичным

сведениям об образующихся веществах. Такие данные получают с помощью химического эксперимента. Например, известную порцию вещества сжигают в специальном приборе в избытке кислорода и определяют массы или объемы продуктов его сгорания — углекислого газа, воды, азота и др.

ЗАДАЧА 3. Найти химическую формулу газообразного углеводорода, если при полном сгорании 50 мл этого вещества образуются 150 мл углекислого газа и 200 мл водяного пара (объемы соответствуют одинаковым условиям).

Дано:

C_xH_y

$V(C_xH_y) = 50$ мл

$V(CO_2) = 150$ мл

$V(H_2O$, пар$) = 200$ мл

C_xH_y — ?

Решение

1. Составляем уравнение реакции в общем виде:

$$C_xH_y + (x + \frac{y}{4})O_2 \rightarrow xCO_2 + \frac{y}{2}H_2O.$$

В соответствии с химическим уравнением из 1 моль C_xH_y образуются x моль CO_2 и $\frac{y}{2}$ моль H_2O.

2. Вычисляем отношение количеств вещества углеводорода, углекислого газа и водяного пара (по закону объемных соотношений количество вещества газа пропорционально его объему при неизменных внешних условиях):

$$n(C_xH_y) : n(CO_2) : n(H_2O, \text{пар}) = V(C_xH_y) : V(CO_2) : V(H_2O, \text{пар}) = 50 : 150 : 200 = 1 : 3 : 4.$$

3. Находим формулу углеводорода.

Коэффициенты в химическом уравнении пропорциональны количествам вещества углеводорода и продуктов реакции:

$$n(C_xH_y) : n(CO_2) : n(H_2O, \text{пар}) = 1 : x : \frac{y}{2} = 1 : 3 : 4.$$

Отсюда $x = 3$; $y = 8$.

Формула углеводорода — C_3H_8.

Ответ: C_3H_8.

ЗАДАЧА 4. Найти химическую формулу углеводорода, если при полном сгорании некоторой его массы образуются 22 г углекислого газа и 11,25 г воды. Относительная плотность углеводорода по водороду равна 29.

Дано:

C_xH_y

$m(CO_2) = 22$ г

$m(H_2O) = 11{,}25$ г

$D_{H_2}(C_xH_y) = 29$

C_xH_y — ?

Решение

1. При полном сгорании углеводорода все атомы Карбона «переходят» в молекулы углекислого газа, а Гидрогена — в молекулы воды.

   Вычисляем количества вещества Карбона и Гидрогена в продуктах сгорания, а следовательно, и в углеводороде:

$$n(CO_2) = \frac{m(CO_2)}{M(CO_2)} = \frac{22}{44} = 0{,}5 \text{ (моль)};$$

$$n(H_2O) = \frac{m(H_2O)}{M(H_2O)} = \frac{11{,}25}{18} = 0{,}625 \text{ (моль)}.$$

   Отсюда

$$n(C) = 0{,}5 \text{ моль}; \quad n(H) = 1{,}25 \text{ моль}.$$

2. Находим простейшую формулу углеводорода:

$$x : y = n(C) : n(H) = 0{,}5 : 1{,}25 = \frac{0{,}5}{0{,}5} : \frac{1{,}25}{0{,}5} = 1 : 2{,}5.$$

   Умножив каждое число найденного соотношения на 2, получаем целые индексы x и y:

$$x : y = (1 \cdot 2) : (2{,}5 \cdot 2) = 2 : 5.$$

   Углеводорода C_2H_5 не существует. Истинная формула соединения C_xH_y кратна простейшей — $(C_2H_5)_z$.

3. Выводим истинную формулу соединения. Для этого сначала вычисляем молярную массу углеводорода, используя математическое выражение (2), приведенное на с. 42:

$$M(C_xH_y) = D_{H_2}(C_xH_y) \cdot M(H_2) = 29 \cdot 2 = 58 \text{ (г/моль)}.$$

   Поскольку $M(C_xH_y) = zM(C_2H_5)$, то

$$z = \frac{M(C_xH_y)}{M(C_2H_5)} = \frac{58}{29} = 2.$$

Истинная формула соединения — $(C_2H_5)_2$, или C_4H_{10}.

Ответ: C_4H_{10}.

ВЫВОДЫ

Вывести химическую формулу органического вещества можно по общей формуле соответствующего гомологического ряда и молярной (относительной молекулярной) массе этого вещества или его плотности либо относительной плотности. Формулу соединения также определяют по массам, объемам или количествам вещества реагентов и продуктов соответствующей реакции.



43. Найдите химическую формулу алкана, имеющего:
    а) молярную массу 100 г/моль;
    б) плотность 0,714 г/л (н. у.);
    в) относительную плотность по воздуху 1,52.
44. Выведите формулу насыщенного углеводорода, если массовая доля Гидрогена в нем равна 15,625 %, а относительная плотность соединения по углекислому газу — 2,91.
45. Определите формулу бромопроизводного метана, если его относительная плотность по гелию составляет 23,75.
46. Какова химическая формула продукта полного хлорирования алкана, если относительная плотность его паров по водороду равна 118,5?
47. При полном сгорании 0,1 моль углеводорода образовалось 0,4 моль углекислого газа и 0,5 моль воды. Выведите формулу углеводорода. (Устно.)
48. Найдите химическую формулу газообразного углеводорода, если при полном сгорании 30 мл соединения образуются 60 мл углекислого газа и 90 мл водяного пара (объемы отвечают одинаковым условиям).
49. Из смеси продуктов бромирования насыщенного углеводорода было выделено вещество, в котором массовые доли Карбона, Гидрогена и Брома составляли 0,13; 0,02 и 0,85 соответственно. Выведите формулы этого вещества и углеводорода.

8 Алкены

Материал параграфа поможет вам:

- выяснить, какие углеводороды называют алкенами;
- получить сведения об изомерии алкенов;
- составлять структурные формулы молекул алкенов;
- называть алкены по правилам систематической номенклатуры.

Состав и строение молекул. Простейшим углеводородом с одной двойной связью в молекуле является этен, или этилен. Его химическая формула — C_2H_4 (рис. 2, 8), а электронная и структурная формулы молекулы —

$$\begin{matrix} H : & \underset{\ddot{H}}{C} & :: & \underset{\ddot{H}}{C} & : H \end{matrix} \qquad CH_2{=}CH_2.$$



Рис. 8. Масштабная модель молекулы этена

▶ Объясните пространственное строение молекулы этена.

Известно много углеводородов, сходных с этеном по строению молекул.

Углеводороды, в молекулах которых имеется открытая карбоновая цепь с одной двойной связью, называют *алкенами*.

Этен является родоначальником гомологического ряда алкенов. Химическую формулу следующего соединения в этом ряду можно

получить, «добавив» к формуле этена гомологическую разность CH_2: $C_2H_4CH_2$ => C_3H_6. Аналогично выведем формулу еще одного алкена: $C_3H_6CH_2$ => C_4H_8. Сопоставив формулы этих углеводородов, приходим к выводу, что общая формула алкенов — $\mathbf{C_nH_{2n}}$ (n = 2, 3, ...).

Алкены C_nH_{2n}

Теперь составим структурную формулу молекулы алкена C_3H_6. Сначала запишем открытую карбоновую цепь с одной двойной и одной простой связью:

$$C{=}C{-}C.$$

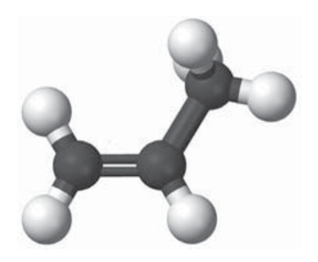
Приняв во внимание, что атомы Карбона четырехвалентны, проведем от каждого атома дополнительные черточки (они имитируют простые связи)

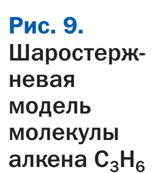
$$\begin{array}{ccccccc} & & & & | & \\ -C & = & C & - & C & - \\ | & & | & & | & \end{array}$$

и допишем атомы Гидрогена:

$$\begin{array}{ccccccccc} & & & & & & H & & \\ & & & & & & | & & \\ H & - & C & = & C & - & C & - & H. \\ & & | & & | & & | & & \\ & & H & & H & & H & & \end{array}$$

Сокращенная структурная формула молекулы этого углеводорода (рис. 9): $CH_2{=}CH{-}CH_3$.




Рис. 9. Шаростержневая модель молекулы алкена C_3H_6

Названия. При составлении систематических названий алкенов соблюдают такую же последовательность, как и для алканов. Дополнительно учитывают положение двойной связи в молекуле. Главную карбоновую цепь выбирают так, чтобы в ней была эта связь. Атомы Карбона нумеруют от того конца цепи, к которому ближе находится двойная связь.

Название алкена с неразветвленными молекулами составляют, добавляя суффикс -*ен* к корню названия соответствующего алкана с таким же числом атомов Карбона в молекуле. Например, алкен C_3H_6 имеет название *пропен*.

Положение двойной связи в молекулах алкенов, кроме этена и пропена, указывают в названии вещества цифрой (наименьшим номером соответствующего атома Карбона) после корня перед суффиксом -*ен*, причем до и после цифры записывают дефис:

$$\overset{1}{C}H_2{=}\overset{2}{C}H{-}\overset{3}{C}H_2{-}\overset{4}{C}H_3.$$

бут-1-ен[1]

Для алкенов с разветвленными молекулами названия заместителей и их положения указывают таким же способом, что и для алканов:

$$\overset{1}{C}H_2{=}\underset{H_3C}{\overset{2}{C}}{-}\underset{C_2H_5}{\overset{3}{C}H}{-}\overset{4}{C}H_2{-}\overset{5}{C}H_3.$$

2-метил-3-этилпент-1-ен

▶ Назовите алкен, молекула которого имеет структурную формулу $CH_2{=}\underset{CH_3}{C}{-}CH_2{-}CH_3$.

Структурные формулы молекул алкенов составляют по названиям соединений так же, как и в случае алканов, дополнительно учитывая положение двойной связи.

УПРАЖНЕНИЕ. Составить структурную формулу молекулы алкена, название которого — 2-метил-4-этилгекс-2-ен.

Решение

Записываем цепь из шести атомов Карбона (ее имеет молекула *н*-гексана) и нумеруем в ней атомы:

$$\overset{1}{C}{-}\overset{2}{C}{-}\overset{3}{C}{-}\overset{4}{C}{-}\overset{5}{C}{-}\overset{6}{C}.$$

Второй и третий атомы соединяем двойной связью:

$$\overset{1}{C}{-}\overset{2}{C}{=}\overset{3}{C}{-}\overset{4}{C}{-}\overset{5}{C}{-}\overset{6}{C}.$$

[1] Раньше цифру, указывающую положение двойной связи, записывали перед названием соединения или после него: 1-бутен, бутен-1.

Присоединяем заместители CH_3- и C_2H_5- соответственно ко второму и четвертому атомам:

$$\overset{1}{C}-\underset{\displaystyle CH_3}{\overset{2}{C}}=\overset{3}{C}-\underset{\displaystyle C_2H_5}{\overset{4}{C}}-\overset{5}{C}-\overset{6}{C}.$$

Дописываем к атомам Карбона главной цепи необходимое количество атомов Гидрогена и получаем структурную формулу молекулы алкена:

$$\overset{1}{C}H_3-\underset{\displaystyle CH_3}{\overset{2}{C}}=\overset{3}{C}H-\underset{\displaystyle C_2H_5}{\overset{4}{C}H}-\overset{5}{C}H_2-\overset{6}{C}H_3.$$

Изомерия. Кроме этена и пропена, остальные алкены имеют структурные изомеры. Изомерные алкены могут различаться не только строением карбоновой цепи (как и алканы), но и положением двойной связи в ней.

Выведем структурные формулы молекул изомерных алкенов C_4H_8 и назовем вещества.

Сначала реализуем все возможные варианты соединения четырех атомов Карбона, помня, что, кроме простых связей, в молекуле алкена должна быть одна двойная:

$$C{=}C{-}C{-}C \qquad C{-}C{=}C{-}C \qquad C{=}\underset{\displaystyle C}{C}{-}C$$

Теперь допишем к каждому атому Карбона необходимое количество атомов Гидрогена, а под формулами приведем названия соответствующих углеводородов:

$$CH_2{=}CH{-}CH_2{-}CH_3 \qquad CH_3{-}CH{=}CH{-}CH_3 \qquad CH_2{=}\underset{\displaystyle CH_3}{C}{-}CH_3$$

бут-1-ен бут-2-ен метилпропен

▶ Объясните, почему мы не назвали третье вещество 2-метилпроп-1-еном.

ВЫВОДЫ

Углеводороды, молекулы которых имеют открытую карбоновую цепь с одной двойной

связью, называют алкенами. Общая формула алкенов — C_nH_{2n}.

Названия алкенов составляют так же, как и алканов. Наличие двойной связи указывают суффиксом *-ен*, а ее положение в цепи — цифрой перед суффиксом.

Структурные изомеры алкенов различаются строением карбоновой цепи и положением в ней двойной связи.

?

50. Какие вещества называют алкенами?

51. Найдите соответствие:

Формула молекулы

1) $CH_3–CH=C–CH_3$;
$\qquad\qquad\quad|$
$\qquad\qquad C_2H_5$

2) $CH_3–C=CH–CH_3$;
$\qquad\quad|$
$\qquad CH_3$

3) $CH_3–CH–CH–CH=C–CH_2–CH_3$;
$\qquad\quad|\qquad|\qquad\qquad|$
$\qquad CH_3\; CH_3\qquad C_2H_5$

Название вещества

а) 5,6-диметил-3-этилгепт-3-ен;
б) 2-метилбут-2-ен;
в) 3-метилпент-2-ен.

52. Назовите углеводороды, молекулы которых имеют такие формулы:

а) $CH_3–C=C–CH_3$;
$\qquad\quad|\quad|$
$\qquad CH_3CH_3$

б) $CH_3–CH=C—CH–CH_3$;
$\qquad\qquad\quad|\qquad|$
$\qquad\qquad C_2H_5\; CH_3$

в) $CH_2=C—CH–CH–CH_3$.
$\qquad\quad|\qquad|\qquad|$
$\qquad CH_3\; CH_3\; CH_3$

53. Составьте структурные формулы молекул:
 а) 3-метилпент-1-ена;
 б) 3,3-диэтилгекс-1-ена;
 в) 2,3-диметилгекс-2-ена.

54. Изобразите формулы молекул алкенов C_5H_{10}, являющихся структурными изомерами, и назовите каждое вещество.

55. Сколько алкенов с формулой C_7H_{14} имеют в молекуле главную карбоновую цепь из 4-х атомов Карбона?

56. Какова химическая формула алкена, имеющего:
 а) молярную массу 70 г/моль;
 б) плотность 1,875 г/л (н. у.)?

9 Свойства алкенов

Материал параграфа поможет вам:

- выяснить физические и химические свойства алкенов;
- сравнить свойства алкенов и алканов;
- узнать, как экспериментально отличить алкен от алкана.

Физические свойства. Алкены по физическим свойствам сходны с алканами. Этен, пропен и бутены в обычных условиях являются газами, другие алкены — жидкости или твердые вещества. С увеличением относительной молекулярной массы соединений температуры их плавления и кипения возрастают. Алкены нерастворимы в воде, но растворяются в органических растворителях.

Химические свойства. Ввиду наличия в молекулах алкенов двойной связи, вещества проявляют значительную химическую активность. В большинстве реакций с участием этих углеводородов двойная связь вследствие разрыва одной из ее составляющих легко превращается в простую. Алкены вступают в реакции присоединения, окисления, полимеризации.

Реакции присоединения[1]. Алкены соединяются с водородом (реакция гидрирования), галогенами (реакция галогенирования), галогеноводородами, водой (реакция гидратации).

Состав продуктов таких реакций с участием водорода или галогенов предсказать легко; каждый атом Гидрогена или галогена молекулы простого вещества соединяется с атомом

[1] Так называют в органической химии реакции соединения.

Карбона, образующим двойную связь в молекуле углеводорода:

$$CH_2{=}CH{-}CH_3 + H_2 \xrightarrow{Pt\ или\ t,\ Ni} CH_3{-}CH_2{-}CH_3$$ (реакция гидрирования);

$$CH_2{=}CH{-}CH_3 + Br_2 \rightarrow \underset{\mathrm{Br}}{\underset{|}{CH_2}}{-}\underset{\mathrm{Br}}{\underset{|}{CH}}{-}CH_3$$ (реакция бромирования).

▶ Составьте уравнения реакций присоединения водорода и брома к этену.

Этен и другие алкены реагируют с фтором, воспламеняясь, смеси алкенов с хлором на свету взрываются, а реакции этих углеводородов с иодом не протекают до конца и являются обратимыми.

Бромирование алкенов происходит с участием не только брома (рис. 10), но и его водного раствора — так называемой бромной воды (она, как и бром, имеет бурый цвет). Обесцвечивание брома позволяет отличать алкены и другие ненасыщенные соединения от насыщенных. Это — одна из *качественных реакций* на кратную связь.

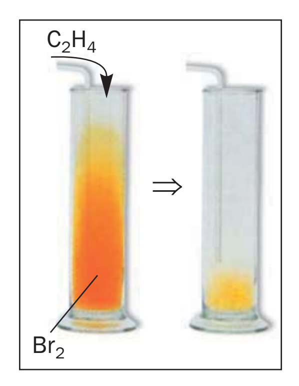


Рис. 10. **Взаимодействие этена с парами брома**

Алкены взаимодействуют с галогеноводородами в обычных условиях

$$CH_2{=}CH_2 + H{-}Br \rightarrow \underset{\mathrm{H}}{\underset{|}{CH_2}}{-}\underset{\mathrm{Br}}{\underset{|}{CH_2}},$$

а с водой — при наличии концентрированной сульфатной кислоты[1]:

$$CH_2{=}CH_2 + H{-}OH \xrightarrow{H_2SO_4(\text{конц.})} \underset{\displaystyle H}{\underset{|}{CH_2}}{-}\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{CH_2}}.$$

▶ Назовите продукты этих реакций.

Если молекула алкена несимметрична относительно двойной связи, то при взаимодействии углеводорода с галогеноводородом или водой атом Гидрогена молекулы галогеноводорода или воды присоединяется преимущественно к атому Карбона, связанному с бóльшим количеством атомов Гидрогена:

$$CH_2{=}CH{-}CH_3 + HBr \rightarrow \underset{\displaystyle H}{\underset{|}{CH_2}}{-}\underset{\displaystyle Br}{\underset{|}{CH}}{-}CH_3.$$

Реакции окисления. Алкены, как и другие углеводороды, при поджигании горят на воздухе.

▶ Составьте уравнение реакции горения этена в избытке кислорода.

В определенных условиях алкены окисляются с разрывом одной из составляющих двойной связи в молекулах. Такое окисление называют частичным. Оно происходит, например, при взаимодействии алкенов с разбавленным водным раствором калий перманганата $KMnO_4$. При пропускании газообразного алкена в раствор этой соли фиолетовый цвет исчезает и появляется бурый осадок MnO_2 (рис. 11). В результате образуется двухáтомный спирт:

$$CH_2{=}CH_2 \xrightarrow{+[O],\ H_2O} \underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{CH_2}}{-}\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{CH_2}}.$$

этиленгликоль

[1] Или при повышенных температуре, давлении, наличии катализатора.

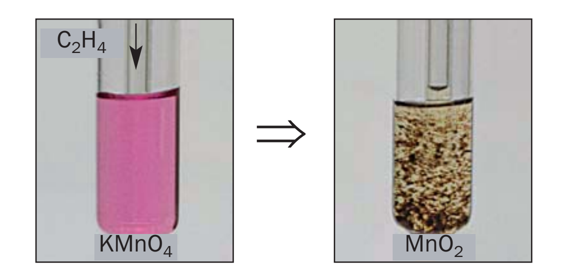


Рис. 11. Взаимодействие этена с водным раствором калий перманганата

(Условной записью [O] в органической химии часто заменяют формулу окислителя.)

С помощью этой реакции, как и реакции с участием бромной воды, можно отличить ненасыщенные органические соединения от насыщенных.

Реакции полимеризации. Изучая в 9 классе этен (этилен), вы узнали, что его молекулы в определенных условиях могут соединяться в длинные цепи. В результате образуется полиэтилен. Этот процесс можно рассматривать как последовательное присоединение к молекуле алкена других молекул вследствие разрыва одной из составляющих двойной связи.

Схема образования полиэтилена из этена:

$$CH_2{=}CH_2 + CH_2{=}CH_2 + CH_2{=}CH_2 + \ldots \xrightarrow{t,\,p,\,k}$$

$$\rightarrow \ldots{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}\ldots;$$

$$\underset{\text{мономер}}{n\,CH_2{=}CH_2} \xrightarrow{t,\,p,\,k} \underset{\text{полимер}}{({-}CH_2{-}CH_2{-})_n}.$$

ВЫВОДЫ

Алкены по физическим свойствам сходны с алканами, нерастворимы в воде, но растворяются в органических растворителях. С увеличением относительной молекулярной массы веществ температуры их плавления и кипения возрастают.

Алкены значительно активнее алканов. Вследствие наличия двойной связи в молекулах эти углеводороды вступают в реакции присоединения, окисления, полимеризации.



57. Объясните, почему алкены являются химически активными веществами.
58. Какие опыты позволяют отличить этен от этана?
59. Составьте уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить такие превращения, и укажите условия их протекания:

$$\begin{array}{ccc} & C_2H_5Cl & \\ & \uparrow & \\ C_2H_6 \leftarrow & C_2H_4 & \rightarrow (-CH_2-CH_2-)_n. \\ & \downarrow & \\ & C_2H_4Br_2 & \end{array}$$

60. Напишите в общем виде уравнение реакции горения алкена.
61. При полном сгорании 10 мл газообразного ненасыщенного углеводорода образовалось по 30 мл углекислого газа и водяного пара (объемы соответствуют одинаковым условиям). Найдите формулу углеводорода. (Устно.)

ДЛЯ ЛЮБОЗНАТЕЛЬНЫХ

Алкадиены

Существуют ненасыщенные углеводороды, молекулы которых имеют открытую карбоновую цепь с двумя двойными связями. Общее название этих соединений — *алкадиены*. Двойные связи могут быть возле одного атома Карбона ($CH_2=C=CH_2$), разделяться одной простой связью ($CH_2=CH-CH=CH_2$) или несколькими ($CH_2=CH-CH_2-CH=CH-CH_3$). Общая формула алкадиенов — $\mathbf{C_nH_{2n-2}}$ (n = 3, 4, ...).

Практическое значение имеют алкадиены, в молекулах которых двойные связи разделены одной простой связью, в частности бута-1,3-диен:

$$H_2\overset{1}{C}=\overset{2}{C}H-\overset{3}{C}H=\overset{4}{C}H_2$$

Такие соединения служат сырьем для производства искусственного каучука (§ 33), резины, некоторых пластмасс. Изделия из этих материалов используют в различных отраслях промышленности, транспортных средствах, электротехнике, быту и т. п.

Особенностью молекулы бута-1,3-диена является то, что все атомы расположены в одной плоскости, а участки перекрывания *p*-орбиталей атомов Карбона находятся над и под плоскостью молекулы (рис. 12).

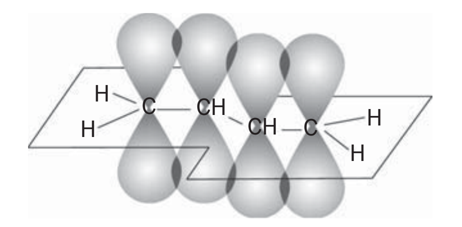


Рис. 12. **Перекрывание *p*-орбиталей в молекуле бута-1,3-диена**

В молекуле нет полноценных простых и двойных связей между атомами Карбона; электронная плотность почти равномерно распределена по всей карбоновой цепи. Структурную формулу молекулы бута-1,3-диена иногда представляют так:

$$CH_2 \overset{\text{---}}{=} CH \overset{\text{---}}{=} CH \overset{\text{---}}{=} CH_2.$$

По химическим свойствам алкадиены схожи с алкенами. Характерными для них являются реакции окисления, присоединения и полимеризации.

10 Алкины

Материал параграфа поможет вам:

- выяснить, какие углеводороды называют алкинами;
- получить сведения об изомерии алкинов;
- составлять структурные формулы молекул изомерных алкинов;
- называть алкины по правилам систематической номенклатуры;
- узнать о свойствах алкинов.

Состав и строение молекул. Простейшим углеводородом с тройной связью в молекуле является этин, или ацетилен, C_2H_2 (рис. 2, 13). Структурная формула молекулы соединения H–C≡C–H, а электронная — H:C⋮⋮C:H.

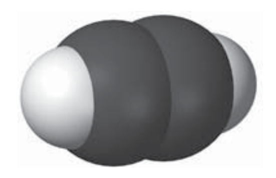


Рис. 13. Масштабная модель молекулы этина

► Объясните пространственное строение молекулы этина.

С этина начинается гомологический ряд углеводородов с одной тройной связью в молекуле.

Углеводороды, молекулы которых имеют открытую карбоновую цепь с одной тройной связью, называют *алкинами*.

Алкины C_nH_{2n-2}

В молекулах алкинов содержится на два атома Гидрогена меньше, чем в молекулах соответствующих алкенов (сравните состав молекул этина C_2H_2 и этена C_2H_4). Поэтому общая формула алкинов — $\mathbf{C_nH_{2n-2}}$ ($n = 2, 3, \ldots$).

Названия. Химические названия алкинов составляют так же, как и алкенов, но вместо суффикса -*ен* используют суффикс -*ин*:

$$\mathrm{HC{\equiv}C{-}CH_3}.$$

пропин

Главную цепь молекулы алкина, как и алкена, выбирают так, чтобы в ней была кратная связь. Положение тройной связи в цепи указывают цифрой перед суффиксом

$$\overset{1}{\mathrm{HC}}{\equiv}\overset{2}{\mathrm{C}}{-}\overset{3}{\mathrm{C}}\mathrm{H_2}{-}\overset{4}{\mathrm{C}}\mathrm{H_3},$$

бут-1-ин[1]

а заместители — в начале названия соединения:

$$\overset{1}{\mathrm{C}}\mathrm{H_3}{-}\overset{2}{\mathrm{C}}{\equiv}\overset{3}{\mathrm{C}}{-}\underset{\mathrm{CH_3}}{\overset{4}{\mathrm{C}}\mathrm{H}}{-}\overset{5}{\mathrm{C}}\mathrm{H_3}.$$

4-метилпент-2-ин

[1] Раньше цифру, указывающую на положение тройной связи, записывали перед названием соединения или после него: 1-бутин, бутин-1.

Изомерия. Структурные изомеры алкинов различаются по строению карбоновой цепи и положению в ней тройной связи. Пример второго варианта изомерии: бут-1-ин $HC{\equiv}C{-}CH_2{-}CH_3$, бут-2-ин $CH_3{-}C{\equiv}C{-}CH_3$.

▶ Докажите, что бутина с разветвленной карбоновой цепью в молекуле не существует.

Физические свойства. Алкины — бесцветные вещества. Этин, пропин и бут-1-ин в обычных условиях являются газами, остальные алкины — жидкости или твердые вещества. Газообразные алкины почти не имеют запаха. Неприятный запах технического этина (ацетилена), используемого при газосварочных работах, обусловлен примесями сероводорода H_2S, фосфина PH_3 и некоторых других газов. Алкины плохо растворяются в воде.

Это интересно
Изомер пропина — соединение с двумя двойными связями в молекуле: $CH_2{=}C{=}CH_2$.

Химические свойства. Алкины как ненасыщенные углеводороды вступают в реакции присоединения, окисления.

Реакции присоединения. Благодаря наличию в молекуле алкина тройной связи реакции с водородом, галогенами, галогеноводородами происходят в две стадии. Сначала молекула алкина присоединяет одну молекулу реагента, затем — вторую.

Реакция гидрирования. На первой стадии взаимодействия этина с водородом образуется этен, а на второй — этан:

$$\underset{\text{этин}}{HC{\equiv}CH} \xrightarrow{+H_2,\ k} \underset{\text{этен}}{H_2C{=}CH_2} \xrightarrow{+H_2,\ k} \underset{\text{этан}}{CH_3{-}CH_3}.$$

▶ Составьте аналогичную схему для пропина.

Реакции с галогенами. Алкины, как и алкены, обесцвечивают бромную воду. Вам известно, что эта реакция является качественной на кратную связь. Этин взаимодействует с бромом согласно химическим уравнениям:

$$H{-}C{\equiv}C{-}H + Br_2 \rightarrow \underset{\text{1,2-дибромоэтен}}{H{-}\underset{\displaystyle Br}{\underset{|}{C}}{=}\underset{\displaystyle Br}{\underset{|}{C}}{-}H}\ \text{(1-я стадия);}$$

$$H{-}\underset{\displaystyle Br}{\underset{|}{C}}{=}\underset{\displaystyle Br}{\underset{|}{C}}{-}H + Br_2 \rightarrow \underset{\text{1,1,2,2-тетрабромоэтан}}{H{-}\overset{\displaystyle Br}{\overset{|}{\underset{\displaystyle Br}{\underset{|}{C}}}}{-}\overset{\displaystyle Br}{\overset{|}{\underset{\displaystyle Br}{\underset{|}{C}}}}{-}H}\ \text{(2-я стадия).}$$

Соответствующая схема превращений:

$$HC{\equiv}CH \xrightarrow{+Br_2} CHBr{=}CHBr \xrightarrow{+Br_2} CHBr_2{-}CHBr_2.$$

Аналогично происходит присоединение хлора к алкинам[1].

Реакции с галогеноводородами. При нагревании и наличии катализатора этин взаимодействует с хлороводородом:

$$HC{\equiv}CH + HCl \xrightarrow{k,\ t} \underset{\text{хлороэтен, или винилхлорид}}{H_2C{=}CHCl}.$$

Эта реакция имеет практическое значение, поскольку ее продукт служит сырьем для производства поливинилхлорида (§ 32). Вторая стадия происходит без катализатора:

$$CH_2{=}CHCl + HCl \rightarrow \underset{\text{1,1-дихлороэтан}}{CH_3{-}CHCl_2}.$$

О реакции этина с водой речь пойдет в § 17.

Реакции окисления. Алкины, как и другие углеводороды, горят на воздухе (рис. 14).

▶ Объясните, почему этин горит светящимся и в то же время коптящим пламенем.

Алкины реагируют с растворами сильных окислителей.

При взаимодействии этина с раствором калий перманганата тройная связь в молекуле углеводорода превращается в простую. Одним из продуктов этой реакции является калий окса-

---

[1] Реакцию этина с хлором осуществляют в растворителе (CCl_4) при наличии катализатора.

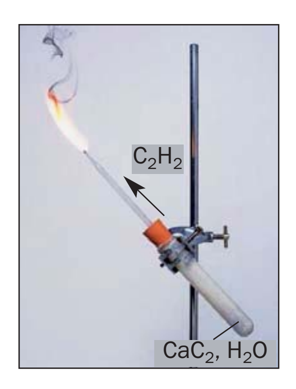


Рис. 14. Горение этина[1]

лат (это — соль двухоснóвной щавелевой кислоты HOOC–COOH):

$$3HC{\equiv}CH + 8KMnO_4 \rightarrow 3KOOC{-}COOK + 8MnO_2\downarrow + 2KOH + 2H_2O.$$

В аналогичных реакциях с участием других алкинов тройные связи между атомами Карбона разрываются и образуются одноoснóвные карбоновые кислоты (в кислой среде) или их соли:

$$CH_3{-}C{\equiv}C{-}CH_3 \xrightarrow{3[O],\ H_2O} 2CH_3COOH.$$

ВЫВОДЫ

Углеводороды, молекулы которых имеют открытую карбоновую цепь с одной тройной связью, называют алкинами. Общая формула алкинов — C_nH_{2n-2}.

Названия алкинов составляют так же, как и алкенов, но используют суффикс *-ин*. Положение тройной связи в цепи указывают цифрой перед суффиксом.

Структурная изомерия алкинов обусловлена разным строением карбоновой цепи и разным положением в ней тройной связи.

В обычных условиях алкины — бесцветные вещества, почти не имеющие запаха, плохо растворимые в воде. Характерными для алкинов являются реакции присоединения и окисления.

[1] В лаборатории этин получают по реакции кальций карбида CaC_2 с водой (§ 12).

?

62. Какие соединения называют алкинами?

63. Дайте названия алкинам, имеющим такие формулы:

а) $CH_3-CH_2-CH_2-C\equiv CH$;

б) $CH_3-C\equiv C-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}-CH_2-CH_3$;

в) $CH_3-\overset{\displaystyle CH_3}{\overset{|}{\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{C}}}}-C\equiv C-CH_3$.

64. Изобразите структурные формулы молекул:

а) гекс-2-ина;

б) 3-метилпент-1-ина;

в) 2,2-диметилгекс-3-ина.

65. Напишите структурные формулы молекул изомерных алкинов C_5H_8 и назовите соединения.

66. Составьте уравнения реакций бут-1-ина с водородом и бромом, взятыми в избытке. Назовите продукты реакций.

67. Алкин, молекулы которого имеют разветвленное строение, взаимодействует с бромом с образованием соединения $C_5H_8Br_4$. Напишите уравнения двух последовательных реакций, назовите углеводород и образующиеся вещества.

68. Как с помощью химических реакций различить этан и этин?

69. Какой максимальный объем водорода (н. у.) может прореагировать с 0,1 моль этина? (Устно.)

70. Какой объем углекислого газа образуется при сжигании 400 мл пропина в избытке воздуха? (Устно.)

71. Найдите химическую формулу алкина:

а) имеющего молярную массу 68 г/моль (устно);

б) в котором массовая доля Карбона равна 88,2 %;

в) если при сжигании 0,1 моль этого углеводорода образуется 0,5 моль углекислого газа (устно).

11 Бензен. Арены

Материал параграфа поможет вам:

- узнать о составе и строении молекулы бензена;
- получить сведения о свойствах бензена;
- выяснить, какие соединения называют аренами.

Существует большая группа соединений Карбона с Гидрогеном, имеющая довольно необычное название — *ароматические углеводороды*. Оно связано с тем, что ранее эти вещества получали из природных душистых смол. Однако общим признаком таких соединений является не запах, а особое строение молекул.

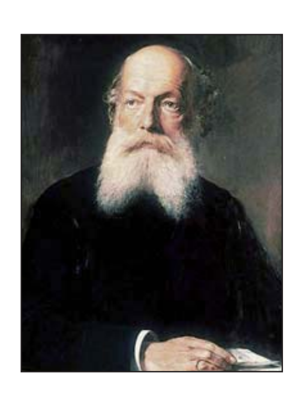
Бензен. Простейшим ароматическим углеводородом является *бензен* C_6H_6 (тривиальное название — бензол). Это вещество открыл в 1825 г. английский ученый М. Фарадей; оно в виде жидкости накапливалось в емкостях со светильным газом, который использовали в уличных фонарях.

Строение молекулы. Свойства бензена, обнаруженные химиками, не позволяли однозначно описать строение его молекулы. Атомов Гидрогена в молекуле бензена C_6H_6 значительно меньше, чем в молекуле насыщенного углеводорода гексана C_6H_{14}. Это указывало на наличие в молекуле бензена двойных или даже тройных связей (т. е. бензен должен быть ненасыщенным углеводородом). Однако вещество оказалось химически пассивным (как насыщенные углеводороды), в отличие от алкенов и алкинов не обесцвечивало бромную воду, раствор калий перманганата. Правда, в особых условиях молекула C_6H_6 все же присоединяла три молекулы водорода или хлора.

Также было выяснено, что производные бензена с одним атомом галогена в молекулах не имели изомеров (в случае открытой карбоновой цепи существование изомеров является очевидным). Это свидетельствовало о равноценности размещения атомов Карбона в молекуле C_6H_6, что возможно лишь при их соединении в замкнутую цепь.

Учитывая совокупность обнаруженных фактов, ученые предложили несколько структурных формул молекулы бензена.

Фридрих Август Кекуле
(1829—1896)



Выдающийся немецкий химик, президент Немецкого химического общества, профессор Гентского и Боннского университетов, иностранный член-корреспондент Петербургской академии наук. Внес значительный вклад в теорию строения органических веществ и учение о валентности. Предвидел значение валентности Карбона, равное четырем, и соединение атомов этого элемента в цепи. Предложил циклическую формулу молекулы бензена. Впервые синтезировал ряд органических веществ. Автор учебника по органической химии, в котором определил эту область науки как химию соединений Карбона. Один из организаторов I Международного конгресса химиков. Основал научную школу. Среди учеников Кекуле — химики Л. Мейер, нобелевские лауреаты А. Байер, Я. Вант-Гофф, Э. Фишер.

С большинством фактов лучше всего согласовывалась формула немецкого химика Ф. А. Кекуле (1865 г.)

```
           H
           |
   H\   /C\\   /H
     C        C
     ‖        |
   H/C\     //C\H
         C
         |
         H
```

Однако и она не объясняла, почему бензен, имея кратные связи, в обычных условиях не вступал в реакции присоединения.

Позднее Ф. А. Кекуле предположил, что двойные связи не закреплены в молекуле C_6H_6, а постоянно перемещаются от одного атома Карбона к другому.

Результаты дальнейших исследований подтвердили равноценность атомов Карбона в молекуле бензена, а также их расположение в одной плоскости, в углах правильного шестиугольника (рис. 15).

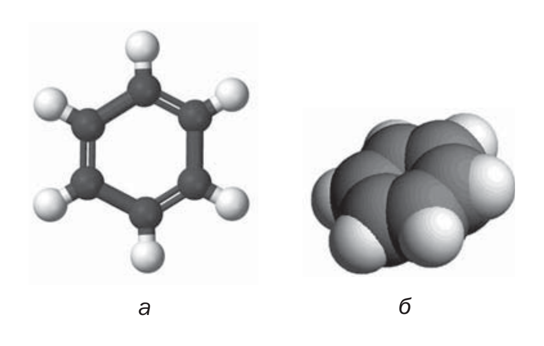


Рис. 15. Модели молекулы бензена:
а — шаростержневая;
б — масштабная

Согласно современным представлениям, между атомами Карбона в молекуле бензена нет обычных простых и двойных связей. Орбитали одного 2*s*- и двух 2*p*-электронов каждого атома Карбона при образовании химических связей изменяют свою форму на одинаковую и размещаются под углами 120°. Они перекрываются с соответствующими орбиталями соседних атомов Карбона и атома Гидрогена (рис. 16, *а*). Орбиталь третьего *p*-электрона сохраняет свою форму и ориентируется перпендикулярно к плоскости молекулы: . Вследствие перекрывания шести таких орбиталей (рис. 16, *б*) электронная плотность равномерно распределяется по карбоновому циклу, сосредоточиваясь над и под его плоскостью (рис. 17).

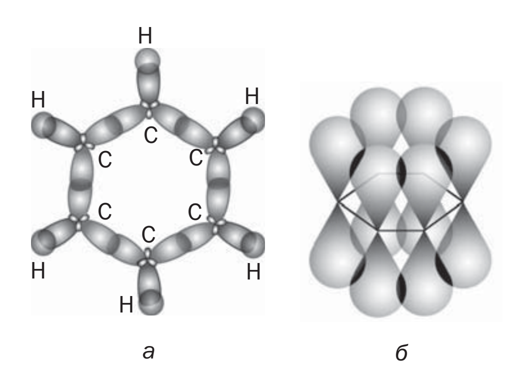


Рис. 16. Перекрывание измененных по форме орбиталей (*а*) и *p*-орбиталей (*б*) атомов Карбона в молекуле бензена

Таким образом, в молекуле бензена существует замкнутая электронная система, образо-

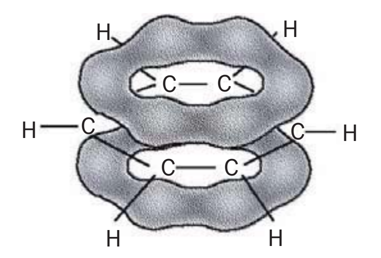


Рис. 17. Замкнутая электронная система в молекуле бензена, образованная *p*-электронами

ванная *p*-электронами[1]. Поэтому структурную формулу молекулы C_6H_6 часто изображают так:

или .

Молекула бензена является симметричной и поэтому неполярна.

Физические свойства. Бензен — бесцветная летучая жидкость со своеобразным запахом, которая легче воды (плотность этого углеводорода — 0,88 г/см^3). Температура плавления бензена +5,5 °С, кипения +80,1 °С. Вещество плохо растворяется в воде, но хорошо — в органических растворителях. Этот углеводород растворяет иод (рис. 18), серу, белый фосфор, жиры, другие органические вещества.

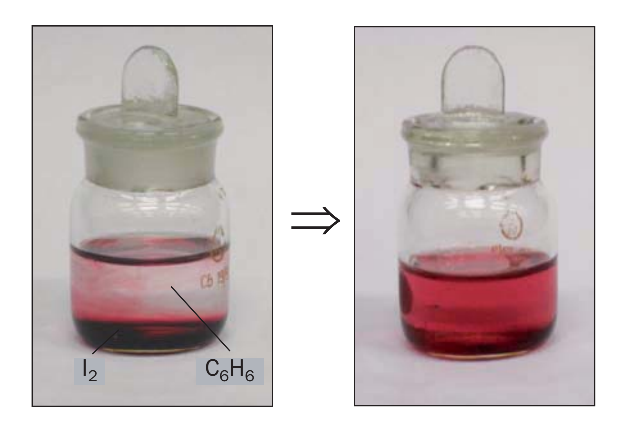


Рис. 18. Растворение иода в бензене

[1] Так называемая π-электронная система.

Бензен — одно из наиболее устойчивых органических соединений; его пары не разлагаются до 600 °С.

Химические свойства. Бензен, хоть и сходен с ненасыщенными углеводородами, однако проявляет достаточную химическую пассивность. Характерными для вещества являются реакции замещения, при которых сохраняется электронная система молекулы, а следовательно, и бензеновое кольцо. Реакции присоединения и окисления с участием бензена приводят к разрушению этой системы; они протекают при высокой температуре, действии ультрафиолетового излучения, наличии катализаторов.

Реакции замещения. Атомы Гидрогена в молекуле бензена могут замещаться на атомы галогенов. С хлором и бромом углеводород взаимодействует при наличии катализаторов[1]. Легче всего происходит первая стадия — замещение одного атома Гидрогена в молекуле бензена:

$$C_6H_6 + Cl_2 \xrightarrow{FeCl_3,\ t} C_6H_5Cl + HCl$$ (реакция хлорирования).

хлоробензен

Реакции присоединения. Бензен, как и ненасыщенные углеводороды, может вступать в реакции присоединения. Они протекают в жестких условиях:

$$C_6H_6 + 3H_2 \xrightarrow{t,\ p,\ Ni} C_6H_{12}$$ (реакция гидрирования);

циклогексан

$$C_6H_6 + 3Cl_2 \xrightarrow{h\nu} C_6H_6Cl_6$$ (реакция хлорирования).

1,2,3,4,5,6-гексахлороциклогексан

[1] С иодом бензен реагирует в особых условиях.



Рис. 19. Горение бензена

Реакция окисления. Бензен, как и другие углеводороды — горючее вещество. При горении этого соединения на воздухе, кроме углекислого газа и воды, образуется небольшое количество углерода, частицы которого раскаляются в пламени (оно становится ярким), а затем сгорают. Горение бензена сопровождается появлением копоти (рис. 19).

▶ Напишите уравнение реакции горения бензена в избытке кислорода.

Вследствие особой устойчивости молекулы бензен инертен к веществам-окислителям. В частности, он не взаимодействует с калий перманганатом. Этим бензен отличается от алкенов и алкинов.

Арены. Кроме бензена, известно много углеводородов со схожей замкнутой электронной системой в молекулах, образованной *p*-электронами.

Углеводороды, в молекулах которых имеется одно или несколько бензеновых колец, называют *аренами*, или *ароматическими углеводородами*.

Бензен C_6H_6 является первым веществом в гомологическом ряду аренов с одним бензеновым кольцом в молекуле.

Существуют арены с несколькими бензеновыми кольцами в молекулах. Структурные формулы молекул важнейших аренов этого типа:

нафтален (нафталин)

антрацен *дифенил*

ВЫВОДЫ

Бензен C_6H_6 — простейший ароматический углеводород.

В молекуле бензена все атомы Карбона размещены в одной плоскости в вершинах правильного шестиугольника. Замкнутая электронная система в молекуле бензена, образованная *p*-электронами, обуславливает его химическую устойчивость.

Бензен — бесцветная летучая жидкость со своеобразным запахом, которая легче воды, растворяется в органических растворителях. Вещество вступает в реакции замещения, присоединения и окисления.

Углеводороды с одним или несколькими бензеновыми кольцами в молекулах называют аренами, или ароматическими углеводородами.

?

72. Почему ученые многие годы не могли определить строение молекулы бензена?
73. В чем заключается особенность строения молекулы бензена?
74. Как влияют условия на взаимодействие бензена с хлором?
75. Укажите вещество (смесь веществ), с которым (которой) реагирует бензен с сохранением электронной системы бензенового кольца:
    а) водород;
    б) бром при наличии катализатора $FeBr_3$;

в) хлор на свету;
г) кислород.

76. Какова относительная плотность по водороду паров бензена? (Устно.)
77. Определите массовую долю Карбона в бензене и сравните ее с массовой долей этого элемента в этине.
78. Вычислите массу продукта реакции гидрирования бензена, взятого объемом 17,7 мл. Плотность ароматического углеводорода приведена в тексте параграфа.
79. Найдите формулу углеводорода, если после его сгорания образовалось 0,6 моль углекислого газа и 0,3 моль воды. Относительная плотность паров вещества по воздуху равна 2,69.
80. Смесь ацетилена и паров бензена имеет относительную плотность по водороду 23,4. Вычислите объемные доли веществ в газовой смеси.

12 Получение и применение углеводородов

Материал параграфа поможет вам:

- получить информацию о способах получения углеводородов;
- расширить свои знания о применении углеводородов;
- выяснить действие углеводородов на организм человека и влияние их на окружающую среду.

Способы получения углеводородов. В промышленности углеводороды получают преимущественно из природных источников — выделением из природного и попутного нефтяного газов, перегонкой нефти (с. 76), ее термическим разложением. Гидрированием угля (чаще всего — бурого) получают синтетическое горючее

$$nC + (n + 1)H_2 \xrightarrow{t,\, p,\, k} C_nH_{2n+2},$$

а взаимодействием карбон(II) оксида и водорода — смесь алканов (в основном с неразветв-

ленными молекулами), похожую по составу на бензин:

$$nCO + (2n + 1)H_2 \xrightarrow{t,\, p,\, k} C_nH_{2n+2} + nH_2O.$$

▶ Составьте уравнение реакции образования гексана из карбон(II) оксида и водорода.

Метан можно получить в лаборатории нагреванием смеси соединений Натрия — ацетата и гидроксида:

$$CH_3COONa + NaOH \xrightarrow{t} CH_4\uparrow + Na_2CO_3.$$

Алканы являются сырьем для получения углеводородов различных типов. В определенных условиях от молекул алканов отщепляются атомы Гидрогена и образуются углеводороды других гомологических рядов. Это — реакции *дегидрирования*. Примеры таких реакций с участием этана:

$$CH_3{-}CH_3 \xrightarrow{t} CH_2{=}CH_2 + H_2;$$

$$CH_3{-}CH_3 \xrightarrow{t} CH{\equiv}CH + 2H_2.$$

▶ Какой ненасыщенный углеводород можно получить дегидрированием этена?

При термическом разложении алканов (§ 6) связи между атомами Карбона могут разрываться; в этом случае образуются смеси углеводородов.

Из алкинов в большом количестве получают только этин. Современный метод заключается в термическом разложении метана:

$$2CH_4 \xrightarrow{1500\,°C} C_2H_2 + 3H_2.$$

Так называемый карбидный метод основан на реакции кальций ацетиленида (тривиальное название — кальций карбид) с водой[1]:

$$CaC_2 + 2H_2O \rightarrow C_2H_2\uparrow + Ca(OH)_2.$$

[1] Метод разработан в 1862 г.

Исходное соединение Кальция производят, нагревая смесь угля и негашеной извести при очень высокой температуре:

$$CaO + 3C \xrightarrow{1900\,^{\circ}C} CaC_2 + CO\uparrow.$$

Получить этин из кальций ацетиленида можно и в лаборатории (рис. 14).

Ароматические углеводороды получают нагреванием насыщенных углеводородов, содержащих шесть и более атомов Карбона в молекулах, при наличии катализаторов. Уравнение реакции образования бензена из *н*-гексана:

$$\begin{array}{c} H_2 \\ H_2C\diagup C \diagdown CH_3 \\ | \\ H_2C\diagdown \underset{H_2}{C} \diagup CH_3 \end{array} \xrightarrow{t,\ Ni} \begin{array}{c} H \\ HC\diagup C \diagdown CH \\ | \bigcirc | \\ HC\diagdown \underset{H}{C} \diagup CH \end{array} + 4H_2\,.$$

н-гексан бензен

Арены образуются при пропускании этина или его гомологов над активированным углем или другими катализаторами при 450—650 °C:

$$\begin{array}{c} HC\equiv CH \\ HC\equiv CH \end{array} + \begin{array}{c} CH \\ ||| \\ CH \end{array} \xrightarrow{k,\ t} \begin{array}{c} H \\ HC\diagup C \diagdown\!\!\diagdown CH \\ || \quad\quad | \\ HC\diagdown \underset{H}{C} \diagup\!\!\diagup CH \end{array}$$

Такую реакцию для промышленного получения бензена не используют.

Алкены можно получить дегидратацией спиртов, т. е. отщеплением воды от соединения (рис. 20):

$$CH_3{-}CH_2OH \xrightarrow{t,\ H_2SO_4(конц.)} CH_2{=}CH_2 + H_2O.$$

При гидрировании алкенов и алкинов (реакции протекают при нагревании и наличии катализаторов) образуются алканы. Однако получать их таким способом на заводе или в лаборатории нецелесообразно: алканы — доступные углеводороды и более дешевые, чем алкены или алкины.

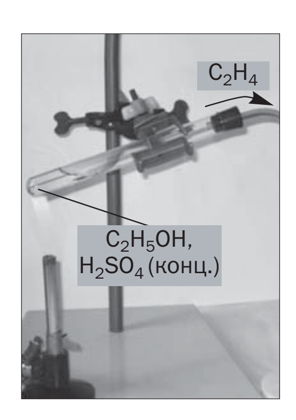


Рис. 20. Получение этена в лаборатории

Применение углеводородов. Углеводороды широко используются в практических целях. Эти вещества являются основой газообразного и жидкого топлива, горючего (рис. 21), служат сырьем для производства многих органических соединений, растворителями для лаков и красок.



Рис. 21. Емкость с пропан-бутановой смесью на автозаправочной станции

Алканы с количеством атомов Карбона в молекулах от 5 до 22 входят в состав бензина, керосина, газойля, уайт-спирита, петролейного эфира. Парафин содержит твердые алканы, имеющие в молекулах от 18 до 35 атомов Карбона, а вазелин является смесью некоторых жидких и твердых алканов.

Среди алкенов наибольшее применение получили этен и пропен; из них производят полимеры — полиэтилен и полипропилен.

Важнейшим в практическом отношении алкином является этин (ацетилен). Он служит исходным веществом для получения многих





Рис. 22. Сварка (*а*) и резка (*б*) металла

органических соединений, в частности этилового спирта, уксусной кислоты, полимеров, органических растворителей. Этот газ также используют для сварки и резки металлов (рис. 22); при его горении в чистом кислороде температура пламени достигает 3000 °С. Работая с ацетиленом, необходимо помнить, что смеси его с воздухом и кислородом взрывоопасны.

Наибольшее применение среди ароматических углеводородов получил бензен — промышленный растворитель, исходное вещество для производства органических соединений, взрывчатых веществ, красителей, лекарственных препаратов, средств борьбы с вредителями и болезнями растений.

Действие углеводородов на организм человека. Безопасными для нашего организма являются только твердые алканы (парафин используют с лечебной целью). Жидкие и газообразные алканы негативно влияют на нервную систему человека. Пентан и гексан раздражают дыхательные пути. Метан при длительном вдыхании вызывает отравление, иногда приводящее к смерти. С целью обнаружения метана в случае его вытекания из плиты или негерметического трубопровода в газовую магистраль добавляют небольшое количество соединений с сильным неприятным запахом; их название — меркаптаны[1]. Пользуясь газом в быту, необходимо чаще проветривать помещение.

[1] Формула простейшего меркаптана — CH_3SH.

Алкены и алкины раздражают слизистые оболочки дыхательных путей, нарушают кровообращение, отрицательно влияют на нервную систему.

Арены очень токсичны. Их пары попадают в атмосферу при лесных пожарах, испарении нефти, горючего, сжигании мусора. Бензен раздражает кожу, вызывает негативные изменения в составе крови, поражает нервную систему.

Углеводороды 1,2-бензопирен и 1,2-бензантрацен являются канцерогенами — веществами, способствующими возникновению и развитию злокачественных опухолей. Они содержатся в табачном дыме, каменноугольной смоле, асфальте.

Влияние углеводородов на окружающую среду. В моря и океаны в результате аварий танкеров, разрушения нефтедобывающих платформ попадают нефть и нефтепродукты (рис. 23). Это наносит серьезный ущерб живым организмам, обитающим в воде, является причиной загрязнения прибрежных территорий. Разлитые нефть и нефтепродукты собирают с поверхности воды специальными средствами, а на берегу удаляют вместе со слоем грунта. Выбросы газообразных углеводородов в атмосферу усиливают парниковый эффект.



Рис. 23. Загрязнение нефтью поверхности океана

ВЫВОДЫ

Углеводороды получают из природного и попутного нефтяного газов, нефти, угля. С этой целью также осуществляют химические реакции различных типов.

Углеводороды и их смеси являются основой топлива и горючего, сырьем для производства многих органических веществ, служат растворителями.

Почти все углеводороды токсичны. Их попадание в окружающую среду приводит к негативным последствиям.



81. Составьте уравнения реакций, которые протекают:
   а) при последовательном гидрировании этина;
   б) при последовательном дегидрировании этана.
82. Допишите химические уравнения:
   а) $C_3H_6 + H_2 \xrightarrow{t,\,k} \ldots$;
   б) $C_3H_8 \xrightarrow{t,\,k} \ldots + H_2$;
   в) $C_4H_{10} \xrightarrow{t,\,k} CH_4 + \ldots$;
   г) $\ldots CO + \ldots \xrightarrow{t,\,p,\,k} C_5H_{12} + \ldots H_2O$.
83. Составьте уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить такие превращения, и укажите условия их протекания:
   а) $CaCO_3 \rightarrow \ldots \rightarrow CaC_2 \rightarrow C_2H_2 \rightarrow C_6H_6$;
   б) бутан → этен → этин.
84. При дегидрировании этена разложилось 80 % углеводорода. Вычислите:
   а) объемные доли газов в образовавшейся смеси;
   б) среднюю молярную массу этой смеси.
85. Этин количеством вещества 0,2 моль пропустили над раскаленным углем, а полученную газообразную смесь — в избыток бромной воды. Прореагировало 16 г брома. Определите соотношение объемов углеводородов в полученной смеси.

ДЛЯ ЛЮБОЗНАТЕЛЬНЫХ

Перегонка нефти

Основная цель переработки нефти (рис. 24) — получение бензина и других видов горючего. Кроме того, нефть служит ценным сырьем для химической промышленности.



Рис. 24. Нефтеперерабатывающий завод

Одним из способов переработки нефти является перегонка. Нефть — смесь веществ, в которой преобладают углеводороды. Каждое соединение имеет определенную температуру кипения. Нагревая нефть, можно постепенно выделять из нее отдельные вещества в газообразном состоянии. Перегонкой нефти получают смеси веществ, кипящие в определенных температурных интервалах. Такие смеси называют фракциями (табл. 2).

Таблица 2

Характеристики фракций, получаемых перегонкой нефти

Название фракции	Количество атомов Карбона в молекулах углеводородов	Интервал температур кипения, °C	Применение
Бензин	$C_5–C_{11}$	40—200	Горючее для авиационных и автомобильных двигателей
Лигроин	$C_8–C_{14}$	150—250	Горючее для тракторов
Керосин	$C_{12}–C_{18}$	180—350	Горючее для тракторов, реактивных самолетов и ракет
Газойль	$C_{15}–C_{22}$	230—350	Дизельное топливо
Мазут*	C_{23}–...	>350	Топливо для котлов, промышленных печей; химическое сырье

*Остаток после перегонки нефти.

Перегонку нефти осуществляют в непрерывно действующих ректификационных колоннах тарелчатой конструкции (рис. 25).

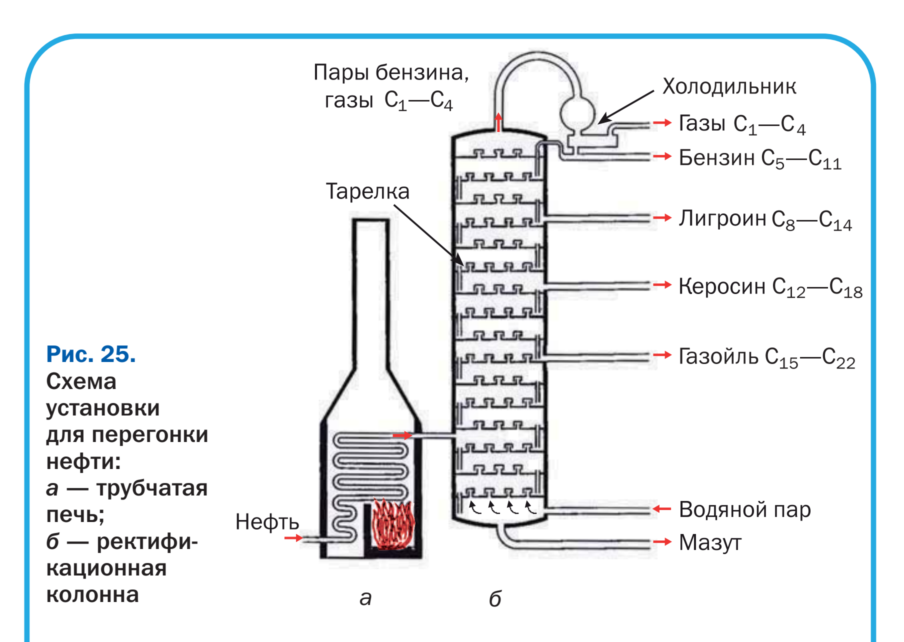


Рис. 25. **Схема установки для перегонки нефти:** ***а*** **— трубчатая печь;** ***б*** **— ректификационная колонна**

Нефть нагревают до кипения и вместе с горячим водяным паром вводят в колонну, где газовая смесь постепенно охлаждается. Сначала в жидкое состояние переходят углеводороды с бóльшими молекулярными массами, затем — с меньшими. Растворенные в нефти углеводороды, являющиеся в обычных условиях газами, выходят из верхней части колонны.

Относительные количества продуктов перегонки нефти показаны на рисунке 26.



Рис. 26. **Приблизительное распределение продуктов перегонки нефти по массе**

Существуют также другие способы переработки нефти. Главное — добиться наибольшего выхода важнейших нефтепродуктов и использовать остатки производства в качестве химического сырья.

3 раздел

Оксигенсодержащие органические соединения

Известно много оксигенсодержащих органических веществ. Среди них, как и среди углеводородов, есть насыщенные, ненасыщенные, ароматические соединения. С учетом наличия в молекулах тех или иных характеристических (функциональных) групп атомов оксигенсодержащие органические вещества делят на классы. В этом разделе рассмотрены классы соединений, указанные на схеме 4, а также фенол C_6H_5OH и жиры.

Схема 4

Классы оксигенсодержащих органических соединений

ОКСИГЕНСОДЕРЖАЩИЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ[1]

Спирты	Альдегиды	Карбоновые кислоты	Эстеры	Углеводы
$R{-}OH$	$R{-}C{\overset{O}{\underset{H}{\lessgtr}}}$	$R{-}C{\overset{O}{\underset{OH}{\lessgtr}}}$	$R{-}COOR'$	$C_n(H_2O)_m$

13 Спирты

Материал параграфа поможет вам:

- получить новые сведения о классификации спиртов;

[1] На схеме приведены общие формулы спиртов, альдегидов и карбоновых кислот с одной характеристической группой атомов в молекуле.

- давать спиртам систематические названия;
- узнать об изомерии спиртов;
- составлять формулы спиртов-изомеров.

Вы уже знаете, что молекула спирта состоит из углеводородного остатка и одной или нескольких гидроксильных групп. *Группа –OH является характеристической группой класса спиртов.*

Спирты — производные углеводородов, в молекулах которых имеется одна или несколько гидроксильных групп.

Однóатомные спирты
***R*–OH**

Классификация. Спирты классифицируют по нескольким признакам. Вам известно, что по количеству гидроксильных групп в молекуле спирты делят на *однóатомные* (молекула содержит одну группу –OH) и *многоáтомные* — двухáтомные (две группы –OH), трехáтомные (три группы –OH) и т. д. Общая формула одноáтомных спиртов — ***R*–OH**.

- Напишите формулу простейшего одноáтомного спирта.

Гидроксильные группы в молекулах многоáтомных спиртов соединены с разными атомами Карбона[1]:

$$\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{CH_2}}-\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{CH_2}} \qquad \underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{CH_2}}-\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{CH}}-\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{CH_2}}$$

В соответствии с особенностями связи между атомами Карбона в молекулах, различают *насыщенные*, *ненасыщенные*, *ароматические* спирты. Примеры формул одноáтомных спиртов каждой группы: $CH_3–CH_2OH$, $CH_2=CH–CH_2OH$, $C_6H_5–CH_2OH$. В молекулах

[1] Соединения, в молекулах которых атом Карбона связан с двумя или тремя OH-группами, неустойчивы либо не существуют.

спиртов гидроксильная группа находится у атома Карбона, соединенного с другим атомом Карбона простой ковалентной связью.

Гидроксильная группа может соединяться с первичным, вторичным или третичным атомом Карбона (с. 34). Учитывая это, одноáтомные спирты делят на *первичные*, *вторичные* и *третичные*:

$$CH_3-CH_2-OH \qquad CH_3-\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{CH}}-CH_3 \qquad CH_3-\overset{\displaystyle CH_3}{\overset{|}{\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{C}}}}-CH_3$$

Спирты, в молекулах которых имеется 10 и более атомов Карбона, называют *высшими*.

В этом и следующих параграфах рассмотрены только насыщенные спирты. Эти соединения являются производными углеводородов C_nH_{2n+2}, в молекулах которых один или несколько атомов Гидрогена замещены на гидроксильные группы. Общая формула насыщенных одноáтомных спиртов — $\mathbf{C_nH_{2n+1}OH}$.

Насыщенные одноáтомные спирты $C_nH_{2n+1}OH$

▶ Запишите общую формулу насыщенных двухáтомных спиртов.

Названия. Систематическое название насыщенного одноáтомного спирта состоит из названия соответствующего алкана и суффикса -*ол*: CH_3OH — метанол, C_2H_5OH — этанол.

Если в молекуле спирта имеется три или больше атомов Карбона, то их нумеруют с того конца цепи, к которому ближе расположена OH-группа. В названии такого спирта перед суффиксом -*ол* указывают номер атома Карбона, с которым соединена гидроксильная группа:

$$\overset{3}{C}H_3-\overset{2}{C}H_2-\overset{1}{C}H_2OH.$$

пропан-1-ол[1]

[1] Раньше положение характеристической группы в названии спирта указывали так: 1-пропанол, пропанол-1.

В разветвленной молекуле спирта выбирают наиболее длинную карбоновую цепь, причем такую, чтобы один из ее атомов был соединен с гидроксильной группой. Названия заместителей и их положения указывают в названии спирта в соответствии с правилами, установленными для углеводородов:

$$\overset{1}{CH_3}-\underset{\underset{OH}{|}}{\overset{2}{CH}}-\underset{\underset{CH_3}{|}}{\overset{3}{CH}}-\overset{4}{CH_3}$$

3-метилбутан-2-ол

▶ Изобразите структурную формулу молекулы спирта, название которого — 2,3-диметилбутан-1-ол.

Это интересно
Тривиальное название метанола — древесный спирт, а этанола — винный спирт.

На практике часто используют другие названия спиртов. Каждое из них состоит из двух слов. Первое слово происходит от названия углеводородного остатка, с которым соединена гидроксильная группа, а вторым является слово *спирт*: CH_3OH — *метил*овый спирт, C_2H_5OH — *этил*овый спирт.

Для простейших многоа́томных спиртов применяют такие тривиальные названия:

CH_2OH-CH_2OH — этиленгликоль;

$CH_2OH-CHOH-CH_2OH$ — глицерол, глицерин.

Изомерия. Структурная изомерия спиртов обусловлена разным *положением гидроксильных групп* в молекулах (рис. 27) и разным *строением карбоновой цепи*. Структурные формулы молекул изомерных спиртов C_4H_9OH:

$$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2OH \qquad CH_3-CH_2-\underset{\underset{OH}{|}}{CH}-CH_3$$

$$CH_3-\underset{\underset{CH_3}{|}}{CH}-CH_2OH \qquad CH_3-\overset{\overset{CH_3}{|}}{\underset{\underset{OH}{|}}{C}}-CH_3$$

▶ Дайте систематическое название каждому изомеру.

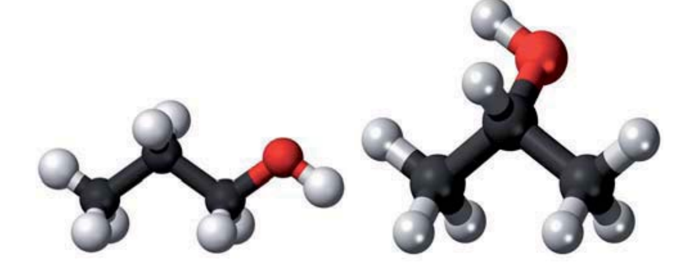


Рис. 27. Шаростержневые модели молекул изомерных пропанолов

Известны изомеры спиртов, принадлежащие к другим классам соединений. Например, изомером этанола C_2H_5OH является диметиловый этер $CH_3–O–CH_3$ (§ 2). Этеры[1] — органические вещества, в молекулах которых атом Оксигена соединен с двумя углеводородными остатками.

Решение задач. Рассмотрим, как решают задачи на выведение химических формул спиртов. Предложенные способы решения задач можно использовать и для оксигенсодержащих органических соединений других классов.

ЗАДАЧА 1. Вывести химическую формулу насыщенного одноáтомного спирта, молярная масса которого равна 46 г/моль.

Дано:	*Решение*
$M(C_nH_{2n+1}OH) = 46$ г/моль $C_nH_{2n+1}OH$ — ?	1. Записываем общее выражение для молярной массы насыщенного одноáтомного спирта: $M(C_nH_{2n+1}OH) = n \cdot M(C) + (2n + 1) \cdot M(H) + M(OH) = 12n + 2n + 1 + 17 = 14n + 18$ (г/моль). 2. Находим химическую формулу соединения: $14n + 18 = 46; \quad n = 2.$ Формула спирта — C_2H_5OH. *Ответ:* C_2H_5OH.

[1] Раньше эти вещества называли простыми эфирами.

ЗАДАЧА 2. Вывести формулу спирта, если при сжигании 0,48 г этого вещества образовалось 0,336 л (н. у.) углекислого газа и 0,54 г воды.

Дано:

m(спирта) = 0,48 г

$V(CO_2)$ = 0,336 л (н. у.)

$m(H_2O)$ = 0,54 г

$C_xH_yO_z$ — ?

Решение

1. Записываем схему реакции:

$$C_xH_yO_z + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O.$$

2. Определяем количества вещества Карбона и Гидрогена, атомы которых при сгорании спирта «перешли» в молекулы CO_2 и H_2O:

$$n(C) = n(CO_2) = \frac{V(CO_2)}{V_M(CO_2)} = \frac{0,336}{22,4} = 0,015 \text{ (моль)};$$

$$n(H) = 2n(H_2O) = 2 \cdot \frac{m(H_2O)}{M(H_2O)} = 2 \cdot \frac{0,54}{18} = 0,06 \text{ (моль)}.$$

3. Находим суммарную массу Карбона и Гидрогена:

$$m(C) = n(C) \cdot M(C) = 0,015 \text{ моль} \cdot 12 \text{ г/моль} = 0,18 \text{ г};$$

$$m(H) = n(H) \cdot M(H) = 0,06 \text{ моль} \cdot 1 \text{ г/моль} = 0,06 \text{ г};$$

$$m(C) + m(H) = 0,18 \text{ г} + 0,06 \text{ г} = 0,24 \text{ г}.$$

4. Вычисляем массу и количество вещества Оксигена в спирте:

$$m(O) = m(\text{спирта}) - (m(C) + m(H)) = 0,48 - 0,24 = 0,24 \text{ (г)};$$

$$n(O) = \frac{m(O)}{M(O)} = \frac{0,24}{16} = 0,015 \text{ (моль)}.$$

5. Находим соотношение индексов в формуле спирта:

$$x : y : z = n(C) : n(H) : n(O) = 0,015 : 0,06 : 0,015 = 1 : 4 : 1.$$

Формула соединения — CH_4O, или CH_3OH.

Ответ: **CH_3OH.**

ВЫВОДЫ

Спирты — производные углеводородов с одной или несколькими гидроксильными группами в молекулах.

По количеству гидроксильных групп в молекуле спирты делят на одно- и многоа́томные, а по особенностям химической связи в карбоновой цепи — на насыщенные, ненасыщенные, ароматические. Учитывая тип атома Карбона, с которым соединена гидроксильная группа, различают первичные, вторичные и третичные одноа́томные спирты. Общая формула одноа́томных спиртов — *R*–OH.

Систематические названия одноа́томных спиртов состоят из названия алкана с такой же карбоновой цепью в молекуле и суффикса *-ол*. Номер атома Карбона, с которым соединена гидроксильная группа, указывают перед суффиксом, а названия заместителей — в начале названия спирта.

Структурная изомерия спиртов обусловлена положением гидроксильных групп в молекулах и строением карбоновой цепи.

?

86. Дайте определение спиртам и назовите признаки, по которым их классифицируют.
87. Среди приведенных формул укажите те, которые принадлежат спиртам: C_3H_7Cl, C_2H_5OH, CH_3OH, $C_2H_4(OH)_2$, C_2H_4, $C_3H_5(OH)_3$, $C_4H_7Br_3$, $C_2H_5OC_2H_5$.
88. По материалам из интернета выясните, почему метанол иногда называют древесным спиртом.
89. Назовите вещества, формулы которых приведены ниже, и укажите первичный, вторичный и третичный спирт:

а) $$\begin{array}{ccccccc} & & & & CH_3 & & \\ & & & & | & & \\ CH_3 & - & CH & - & C & - & OH; \\ & & | & & | & & \\ & & CH_3 & & CH_3 & & \end{array}$$

б) $$\begin{array}{ccccccccccc} & & & & CH_3 & & & & & & \\ & & & & | & & & & & & \\ CH_3 & - & CH_2 & - & CH & - & CH_2 & - & CH & - & CH_3; \\ & & & & & & & & | & & \\ & & & & & & & & OH & & \end{array}$$

в) $$\begin{array}{ccccccc} & & CH_3 & & & & \\ & & | & & & & \\ CH_2 & - & C & - & CH_2 & - & CH_3. \\ | & & | & & & & \\ OH & & CH_3 & & & & \end{array}$$

90. Изобразите структурные формулы молекул спиртов с такими названиями:
   а) 2-метилпентан-3-ол;
   б) 2,3-диметилгексан-2-ол;
   в) 3-этилпентан-3-ол.

91. Запишите структурные формулы молекул изомерных спиртов состава $C_5H_{12}O$, в которых главная карбоновая цепь содержит 4 атома. Назовите соединения.

92. Найдите химическую формулу одноа́томного насыщенного спирта, если:
   а) молярная масса соединения 88 г/моль;
   б) массовая доля Оксигена в соединении 15,7 %;
   в) соединение имеет относительную плотность паров по воздуху 1,59;
   г) соотношение масс Карбона, Оксигена и Гидрогена в соединении равно 3 : 4 : 1.

93. Какова химическая формула треха́томного спирта, имеющего молярную массу 106 г/моль?

94. При полном сгорании 3,0 г спирта образовалось 3,36 л углекислого газа (н. у.) и 3,6 г воды. Выведите химическую формулу спирта.

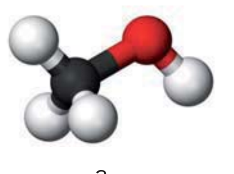
95. Какова формула спирта, если при полном сгорании 9,2 г этого соединения образовалось 0,3 моль углекислого газа и 7,2 г воды?

14 Насыщенные одноатомные спирты

Материал параграфа поможет вам:

- вспомнить строение молекул одноа́томных спиртов;
- пополнить свои знания о свойствах спиртов;
- узнать о способах получения спиртов.

Гомологический ряд насыщенных одноа́томных спиртов начинается с метанола CH_3OH (рис. 28) и этанола C_2H_5OH. В 9 классе вы ознакомились с составом и строением молекул этих соединений, узнали о некоторых их физических и химических свойствах.



а



б

Рис. 28. Модели молекулы метанола: *а* — шаростержневая; *б* — масштабная

Читая материал параграфа, вы получите новую информацию о спиртах.

Строение молекул. Молекула одноáтомного спирта состоит из двух частей — углеводородного остатка и гидроксильной группы. Атом Оксигена, наиболее электроотрицательного элемента в молекуле, смещает в свою сторону общие электронные пары от атомов Карбона и Гидрогена. Поэтому связи C–O и O–H являются полярными (последняя связь наиболее полярна):

$$\begin{array}{c} \mathrm{H} \\ \downarrow \\ \mathrm{H}\rightarrow\mathrm{C}\rightarrow\overset{\delta-}{\mathrm{O}}\leftarrow\overset{\delta+}{\mathrm{H}}. \\ \uparrow \\ \mathrm{H} \end{array}$$

Наличие полярных связей в молекулах спиртов в значительной мере обуславливает характерные реакции этих веществ.

С ростом карбоновой цепи в молекулах спиртов полярность связи O–H уменьшается. В молекуле первичного спирта эта связь более полярна, чем в молекуле вторичного или третичного спирта.

Фрагмент молекулы спирта C–O–H является угловым (рис. 28), как и молекула воды. На атоме Оксигена сосредоточен небольшой отрицательный заряд, который меньше единицы, а с противоположной стороны молекулы, где находятся атомы Гидрогена, — положительный заряд. Поэтому молекула спирта полярна.

Физические свойства. Наличие гидроксильных групп в молекулах спиртов существенно влияет на физические свойства соединений. Атомы Гидрогена и Оксигена OH-групп принимают участие в образовании водородных связей между молекулами спирта (§ 3). Поэтому среди спиртов нет газообразных веществ (отличие от углеводородов), а их температуры кипения значительно выше, чем соответствующих алканов. Одноáтомные спирты с небольшим

количеством атомов Карбона в молекулах в обычных условиях являются бесцветными жидкостями со специфическим запахом (спиртовым, камфорным, сивушным). Высшие спирты — твердые вещества почти без запаха.

Метанол, этанол, а также пропанолы и метилпропан-2-ол неограниченно растворяются в воде вследствие образования водородных связей между молекулами спирта и воды. Растворимость других спиртов с увеличением числа атомов Карбона в молекулах уменьшается, а высшие спирты в воде нерастворимы.

Химические свойства. Реакции с участием спиртов отличаются от тех, в которые вступают углеводороды.

Реакции с металлами. Спирты взаимодействуют со щелочными металлами с выделением водорода и образованием солеподобных веществ (рис. 29):

$$\underset{\text{этанол}}{2C_2H_5OH} + 2Na \rightarrow \underset{\substack{\text{натрий этанолят} \\ \text{(натрий этилат)}}}{2C_2H_5ONa} + H_2\uparrow.$$

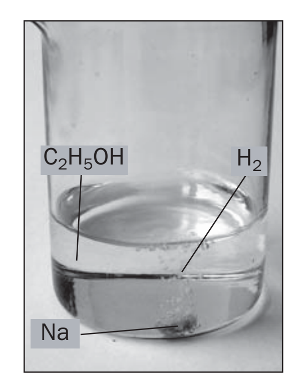


Рис. 29. Реакция этанола с натрием

При этом полярные связи O–H в молекулах спирта разрываются, и атомы Гидрогена замещаются на атомы металлического элемента. В таких реакциях спирты ведут себя как кислоты. Однако они не диссоциируют с образованием ионов H^+, не реагируют со щелочами; спирты — неэлектролиты.

Дегидратация. Вам уже известно, что так называют реакцию отщепления воды от соединения (с. 72). Условия ее протекания для спиртов — нагревание и наличие концентрированной сульфатной кислоты. Отщепление молекулы воды может происходить от одной или двух молекул спирта. В первом случае при дегидратации одноáтомного спирта, кроме воды, образуется алкен, а во втором случае — этер (с. 83):

$$\underset{\boxed{H\quad\;\; OH}}{CH_2-CH_2} \xrightarrow{\sim 170\,^\circ C,\ H_2SO_4(конц.)} \underset{\text{этен}}{CH_2=CH_2} + H_2O;$$

$$C_2H_5-O\boxed{H + HO}-C_2H_5 \xrightarrow{\sim 140\,^\circ C,\ H_2SO_4(конц.)} \underset{\text{диэтиловый этер}}{C_2H_5-O-C_2H_5} + H_2O.$$

▶ Назовите спирты, дегидратацией которых можно получить пропен.

Окисление. Первичные спирты под действием окислителей превращаются в альдегиды (§ 17), которые, в свою очередь, окисляются до карбоновых кислот[1]:

$$\underset{\text{спирт}}{C_2H_5OH} \xrightarrow[-H_2O]{[O]} \underset{\text{альдегид}}{CH_3-C\begin{smallmatrix}\nearrow O\\ \searrow H\end{smallmatrix}} \xrightarrow{[O]} \underset{\text{карбоновая кислота}}{CH_3-C\begin{smallmatrix}\nearrow O\\ \searrow OH\end{smallmatrix}}$$

Окисление этилового спирта используют в производстве пищевой уксусной кислоты.

Легко заметить, что *суть окисления органического вещества может состоять в уменьшении количества атомов Гидрогена в его молекуле* ($C_2H_5OH \rightarrow \underset{\text{альдегид}}{C_2H_4O}$) *либо увеличении количества атомов Оксигена* ($C_2H_4O \rightarrow \underset{\text{кислота}}{C_2H_4O_2}$).

Спирты окисляются калий перманганатом (рис. 30), купрум(II) оксидом. Чтобы осуществить вторую реакцию, медную пластинку

[1] Соответствующие реакции называют частичным окислением.

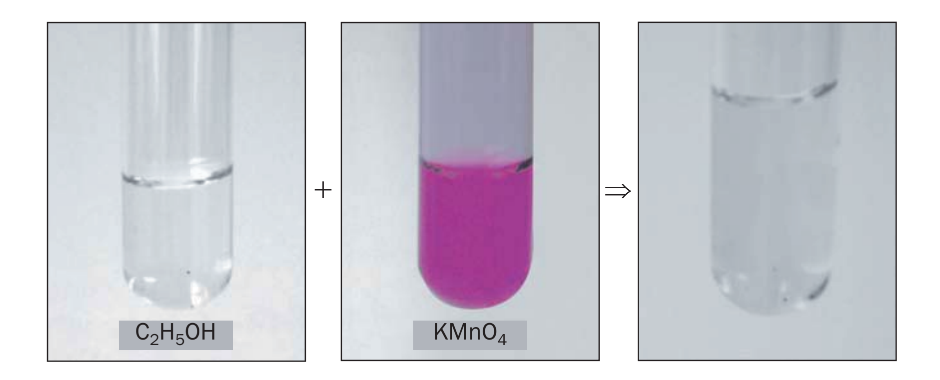


Рис. 30. Окисление этанола калий перманганатом в растворе, содержащем сульфатную кислоту

нагревают до ее потемнения (на поверхности металла образуется оксид CuO) и горячей погружают в этанол. Она снова становится блестящей, и появляется запах уксусного альдегида.

Полное окисление спирта происходит, если его поджечь. Метиловый и этиловый спирты горят на воздухе почти бесцветным пламенем, а высшие спирты — коптящим.

▶ Напишите уравнение реакции горения метанола.

Реакции с галогеноводородами. Спирты взаимодействуют с хлороводородом, бромоводородом, иодоводородом. При этом гидроксильная группа в молекуле спирта замещается на атом галогена:

$$CH_3{-}CH_2{-}\boxed{OH + H}{-}Br \rightleftarrows \underset{\text{бромоэтан}}{CH_3{-}CH_2{-}Br} + H_2O.$$ [1]

Получение спиртов. Важнейшими в практическом отношении являются метиловый и этиловый спирты. Их получают в промышленности в наибольшем количестве.

Современный метод получения этилового спирта основан на реакции этена с водяным

[1] Для осуществления реакции к спирту добавляют натрий бромид или калий бромид и концентрированную сульфатную кислоту (при взаимодействии соли с кислотой образуется бромоводород).

паром при температуре 300 °C, повышенном давлении и наличии катализатора:

$$CH_2{=}CH_2 + H_2O \xrightarrow{t,\,p,\,k} CH_3{-}CH_2OH.$$

Основой другого метода является спиртовое брожение глюкозы в водном растворе с участием ферментов[1] дрожжей:

$$C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{\text{ферменты}} 2C_2H_5OH + 2CO_2\uparrow.$$

Этот биохимический процесс используют с давних времен для приготовления вина из винограда (рис. 31), других ягод и фруктов.



Рис. 31. Брожение виноградного сока

Исходным веществом в производстве спирта для пищевой промышленности служит пшеничный или картофельный крахмал, а технического спирта — целлюлоза, полученная из отходов переработки древесины.

Сырьем для производства метилового спирта является синтез-газ — смесь карбон(II) оксида и водорода, которую получают взаимодействием метана с водяным паром при высокой температуре и наличии катализатора:

$$CH_4 + H_2O\ (\text{пар}) \xrightarrow{t,\,k} CO + 3H_2.$$

Образование спирта происходит в смеси газов в соответствии с уравнением:

$$CO + 2H_2 \xrightarrow{t,\,p,\,k} CH_3OH.$$

Этот процесс часто называют синтезом метанола.

---

[1] Ферменты (лат. fermentum — закваска) — белки, выполняющие роль катализаторов (с. 226).

Применение. Жидкие спирты используют в качестве растворителей, а также в органическом синтезе. Наибольшее применение получили этиловый и метиловый спирты. Этанол используют в медицине, фармакологии, парфюмерии, пищевой промышленности, иногда — как компонент горючего для автотранспорта (рис. 32), а метанол служит сырьем для химической промышленности.



Рис. 32. Автобус с двигателем на «спиртовом» горючем

Заводы преимущественно выпускают этиловый спирт, содержащий небольшое количество воды ($w(H_2O) \approx 4$ %). Его название — спирт-ректификат.

Это интересно
Люди, злоупотребляющие алкоголем, укорачивают свою жизнь на 10—12 лет.

Физиологическое действие спиртов. Этиловый спирт является наркотическим веществом, которое быстро всасывается в кровь. Человек в состоянии алкогольного опьянения ведет себя неестественно, перестает контролировать свои действия, теряет память, у него нарушается координация движений. Постоянное и чрезмерное употребление спиртных напитков приводит к алкоголизму. Эта болезнь поражает нервную, сердечно-сосудистую, репродуктивную системы, разрушает печень, вызывает понижение иммунитета, умственных способностей, интеллекта, происходит деградация личности.

Метанол — сильный яд. При попадании в организм незначительного количества этого соединения человек теряет зрение, а от большего количества погибает.

ВЫВОДЫ

Насыщенные однoáтомные спирты — производные алканов, в молекулах которых имеется гидроксильная группа. Общая формула этих спиртов — $C_nH_{2n+1}OH$.

Насыщенные однoáтомные спирты — бесцветные жидкости со специфическим запахом или твердые вещества почти без запаха. Растворимость спиртов в воде с увеличением количества атомов Карбона в молекулах уменьшается.

Характерные реакции спиртов обусловлены наличием в их молекулах полярных связей O–H и C–O. Спирты взаимодействуют со щелочными металлами, способны к дегидратации и окислению, являются горючими веществами.

В промышленности в наибольшем количестве получают метиловый и этиловый спирты. Этанол используют в медицине, фармакологии, пищевой и химической промышленности, как компонент горючего для автотранспорта, а метанол — в производстве органических веществ.

Этиловый спирт, попадая в организм, наносит существенный вред, а метиловый спирт является сильным ядом.



96. Что общего и что различного в строении молекул углеводородов и спиртов?
97. От каких факторов зависят физические свойства спиртов? Дайте соответствующее пояснение.
98. Заполните таблицу и объясните различия в физических свойствах алканов и спиртов:

Название соединения	Химическая формула	Агрегатное состояние в обычных условиях	Температура кипения, °C
Метан			–161,6
Метанол			+64,5
Этан			–88,6
Этанол			+78,4

99. Как влияет водородная связь на растворимость спиртов в воде? Зависит ли растворимость спирта в воде от длины карбоновой цепи его молекулы? Если да, то как именно?

100. Допишите продукты реакций и преобразуйте схемы в химические уравнения:

а) $C_4H_9OH + O_2 \rightarrow$ ...;

б) $C_3H_7OH + Li \rightarrow$ ... .

101. Напишите формулы продуктов реакций, назовите тип и условия протекания каждой реакции:

а) $CH_3-C(CH_3)(OH)-CH_3 \rightarrow$ алкен + ...;

б) $CH_3-CH_2-CH_2OH \rightarrow$ этер + ...;

в) $CH_3-C(CH_3)=C(CH_3)-CH_3 +$ ... $\rightarrow$ спирт.

102. Гидратацией алкенов получают одноáтомные спирты. Напишите общее уравнение такой реакции.

103. Какая масса натрия и какой объем этанола (плотность спирта 0,79 г/мл) прореагировали, если выделилось 224 мл водорода (н. у.)?

104. Смешали 200 г водного раствора этанола с его массовой долей 5 % и 50 г раствора этого спирта с его массовой долей 10 %. Вычислите массовую долю этанола в приготовленном растворе.

105. Какой объем этена (н. у.) был взят для получения 2 л этанола (плотность спирта 0,79 г/мл), если в реакцию вступило 85 % алкена?

106. В результате дегидратации насыщенного спирта массой 15 г образовался углеводород и 4,5 г воды. Назовите спирт и изобразите структурную формулу его молекулы. Сколько решений имеет задача?

15 Многоатомные спирты. Глицерол

Материал параграфа поможет вам:

- вспомнить строение молекул и свойства глицерола;

- получить новую информацию о многоа́томных спиртах.

Простейшим двуха́томным спиртом является этиленгликоль $HO–CH_2–CH_2–OH$, а треха́томным спиртом — глицерол, или глицерин $HOCH_2–CHOH–CH_2OH$ (рис. 33). В природе этих спиртов нет, но производные глицерола — жиры — очень распространены.

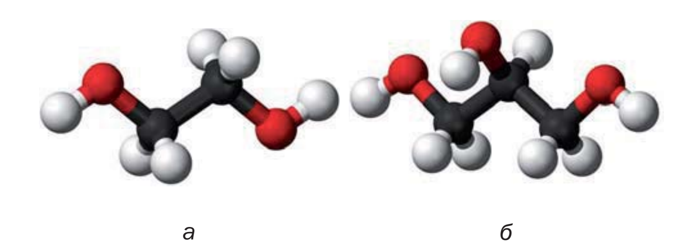


Рис. 33. Шаростержневые модели молекул: *а* — этиленгликоля; *б* — глицерола

Физические свойства глицерола. В 9 классе вы узнали, что треха́томный спирт глицерол — бесцветная вязкая жидкость (рис. 34) со сладким вкусом. Это вещество не имеет запаха, гигроскопично, немного тяжелее воды, смешивается с ней в любых соотношениях с образованием раствора.



Рис. 34. Глицерол

Глицерол кипит, разлагаясь, при температуре +290 °C, тогда как температуры кипения одноа́томных спиртов (пропанолов) с таким же числом атомов Карбона в молекулах значительно ниже. Различия обусловлены тем,

Это интересно
Вязкость глицерола в обычных условиях в тысячу раз больше, чем воды.

что в многоа́томном спирте образуется больше водородных связей (каждая молекула глицерола содержит три OH-группы).

Химические свойства. Глицерол взаимодействует не только с активными металлами, но и с некоторыми гидроксидами металлических элементов, в частности с купрум(II) гидроксидом (о такой реакции шла речь в 9 классе). Этим он больше, чем одноа́томный спирт, напоминает кислоту. Однако глицерол и его раствор не изменяют окраски индикаторов.

Реакции с металлами. При взаимодействии глицерола со щелочными металлами (рис. 35) происходит последовательное замещение атомов Гидрогена в гидроксильных группах на атомы металлического элемента:

$$2\begin{matrix}CH_2{-}OH\\ |\\ CH{-}OH\\ |\\ CH_2{-}OH\end{matrix} \xrightarrow[-H_2]{+2Na} 2\begin{matrix}CH_2{-}ONa\\ |\\ CH{-}OH\\ |\\ CH_2{-}OH\end{matrix} \xrightarrow[-H_2]{+2Na} 2\begin{matrix}CH_2{-}ONa\\ |\\ CH{-}ONa\\ |\\ CH_2{-}OH\end{matrix} \xrightarrow[-H_2]{+2Na} 2\begin{matrix}CH_2{-}ONa\\ |\\ CH{-}ONa\\ |\\ CH_2{-}ONa\end{matrix}$$



Рис. 35. **Взаимодействие глицерола с натрием**

Другая запись уравнения реакции этого спирта с избытком натрия[1]:

$$2C_3H_5(OH)_3 + 6Na \rightarrow 2C_3H_5(ONa)_3 + 3H_2\uparrow.$$

Соединения металлических элементов, производные глицерола, называют глицератами.

---

[1] Чтобы реакция протекала с достаточной скоростью, глицерол нагревают.

Реакция с купрум(II) гидроксидом. Если к только что полученному по реакции обмена осадку купрум(II) гидроксида добавить водный раствор глицерола, то осадок растворяется, а жидкость приобретает ярко-синий цвет. Название продукта взаимодействия — купрум(II) глицерат (рис. 36). *Эта реакция является качественной на многоа́томные спирты* (на фрагмент молекулы –CHOH–CHOH–).

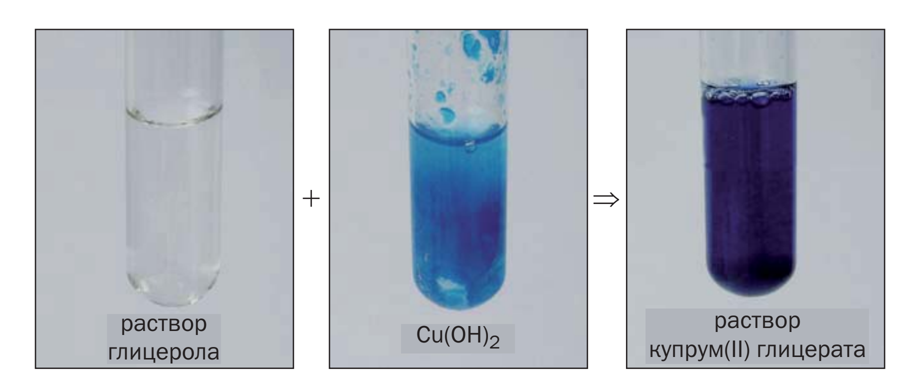


Рис. 36. **Взаимодействие глицерола с купрум(II) гидроксидом**

Окисление. Глицерол горит на воздухе с образованием углекислого газа и воды. Для проведения такого опыта небольшое количество спирта нагревают в фарфоровой чашке и поджигают с помощью лучинки. Соединение горит почти бесцветным пламенем.

▶ Напишите уравнение реакции горения глицерола.

Получение и применение. Глицерол получают в промышленности различными методами. Традиционный метод основан на гидролизе жиров. Глицерол для технических целей синтезируют из пропена.

Значительное количество глицерола используют в производстве взрывчатых веществ. Это соединение также применяют для смягчения кожи при изготовлении обуви и одежды. Глицерол является компонентом

зубных паст, мыла, косметических кремов. Его иногда добавляют в ликеры для придания им вязкости.

Водные растворы двухáтомного спирта этиленгликоля применяют зимой для охлаждения двигателей в автомобилях. Название этих жидкостей — антифризы[1]. Водителям следует помнить, что этиленгликоль очень токсичен.

ВЫВОДЫ

Простейшими двухáтомным и трехáтомным спиртами являются этиленгликоль и глицерол.

Глицерол — бесцветная вязкая жидкость без запаха, сладкая на вкус, гигроскопичная, неограниченно растворимая в воде. Вещество взаимодействует со щелочными металлами, купрум(II) гидроксидом.

Глицерол используют в производстве взрывчатых веществ, косметических средств, а также в пищевой промышленности.



107. Как объяснить то, что глицерол, в отличие от пропанолов, является вязкой жидкостью и не имеет запаха?
108. Как различить водные растворы этанола и глицерола с помощью химической реакции?
109. Какой максимальный объем водорода (н. у.) можно получить из 0,1 моль глицерола с помощью реакции с натрием? (Устно.)
110. Вычислите массовую долю глицерола в водном растворе, если молекул воды в нем в 10 раз больше, чем молекул спирта.
111. В результате взаимодействия натрия, взятого в избытке, с 46 г трехáтомного спирта образовалось 0,75 моль водорода. Выведите формулу спирта.

---

[1] Термин происходит от английского слова freeze — замерзать. Антифризы не замерзают при низких температурах.

112. При сжигании 1 моль спирта образовалось 2 моль углекислого газа. Какой спирт был взят? Имеет ли задача единственное решение? Ответ аргументируйте.

113. Найдите формулу двуха́томного спирта, если при сжигании 6,2 г этого вещества образовалось 5,4 г воды.

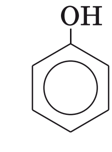
16 Фенол

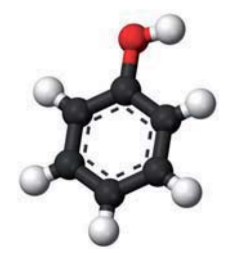
Материал параграфа поможет вам:

- ознакомиться с веществом, которое называют фенолом;
- сравнить строение молекул фенола и спиртов;
- узнать о свойствах фенола, его физиологическом действии и влиянии на окружающую среду.

Это интересно
Впервые фенол был выделен из каменноугольной смолы в 1834 г.

Органическое соединение, название которого — *фенол*, а химическая формула — C_6H_5OH, по составу напоминает одноа́томный спирт. Но это вещество не относят к классу спиртов, поскольку гидроксильная группа в его молекуле непосредственно связана с бензеновым кольцом (рис. 37):





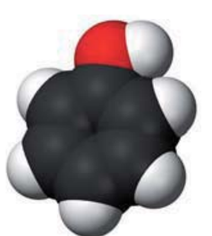


Рис. 37. Модели молекулы фенола

Строение молекулы. Наличие бензенового кольца в молекуле фенола C_6H_5OH обуславли-

вает бо́льшую подвижность атома Гидрогена в ОН-группе, чем в молекулах одноа́томных спиртов *R*OH. Если в молекуле спирта углеводородный заместитель отдает часть своей электронной плотности атому Оксигена ($CH_3 \rightarrow OH$), что приводит к уменьшению полярности связи O–H, то в молекуле фенола наоборот — атом Оксигена «обогащает» электронной плотностью бензеновое кольцо ($C_6H_5-\ddot{O}H$). Неподеленная пара *p*-электронов атома Оксигена, «втягиваясь» в кольцо, образует с *p*-электронами атомов Карбона общую электронную систему (рис. 38). Длина связи C–O уменьшается, и она становится прочнее.

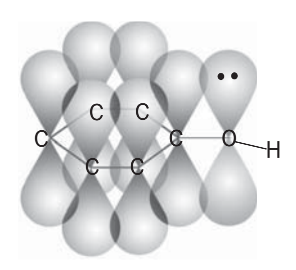


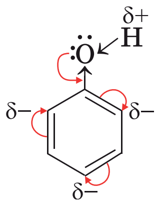
Рис. 38. **Перекрывание *p*-орбиталей в молекуле фенола**

Атом Оксигена, компенсируя потерю электронной плотности, сильнее смещает в свою сторону общую с атомом Гидрогена электронную пару ($C_6H_5-O \leftarrow H$). Полярность связи O–H возрастает; атом Гидрогена в молекуле фенола приобретает бо́льший положительный заряд, чем в молекуле спирта, становится подвижнее и поэтому легче замещается на другие атомы в химических реакциях.

Гидроксильная группа также влияет на бензеновое кольцо. Она вызывает повышенную подвижность атомов Гидрогена бензенового кольца у двух ближайших и самого отдаленного атомов Карбона[1], где сосредоточивается наибольшая электронная плотность:

---

[1] Соответствующие позиции в молекуле фенола называют *орто-* и *пара*-положениями.



Физические **свойства.** Фенол — твердое бесцветное вещество со специфическим «карболовым» запахом. На воздухе соединение постепенно окисляется и со временем приобретает бледно-розовый цвет (рис. 39).



Рис. 39.
Фенол

Фенол умеренно растворяется в холодной воде и неограниченно — в горячей.

Температуры плавления и кипения фенола (+41 и +182 °C соответственно) выше, чем бензена (с. 66). Причиной этого является образование водородных связей между молекулами фенола с участием атомов Гидрогена и Оксигена гидроксильных групп.

Химические свойства. Фенол — химически активное вещество; его реакционную способность обуславливают и гидроксильная группа, и бензеновое кольцо.

Реакции с участием гидроксильной группы. В отличие от спиртов фенол проявляет кислотные свойства (раньше фенол называли карболовой кислотой). Однако вещество диссоциирует в растворе очень слабо

$$C_6H_5OH \rightleftarrows H^+ + \underset{\text{фенолят-ион}}{C_6H_5O^-}$$

и не изменяет окраски индикаторов.

Реакции с металлами. Фенол, нагретый до начала плавления, взаимодействует со щелочными металлами с выделением водорода (рис. 40) и образованием солей:

$$2C_6H_5OH + 2Na \rightarrow \underset{\text{натрий фенолят}}{2C_6H_5ONa} + H_2\uparrow.$$

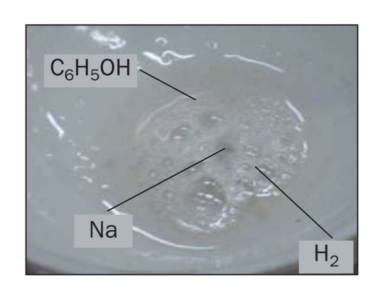


Рис. 40. Реакция фенола с натрием

Реакции со щелочами. Фенол как слабая кислота реагирует с водными растворами щелочей:

$$C_6H_5OH + NaOH \rightleftarrows C_6H_5ONa + H_2O.$$

Такие реакции являются обратимыми; феноляты частично взаимодействуют с водой (их растворы имеют щелочную среду).

При добавлении раствора феррум(III) хлорида к раствору фенола появляется фиолетовое окрашивание (рис. 41). Это — качественная реакция на фенол. Спирты не взаимодействуют с феррум(III) хлоридом.

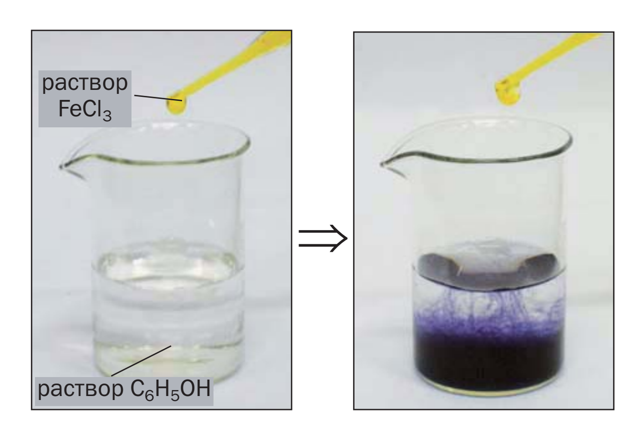


Рис. 41. Реакция фенола с феррум(III) хлоридом

Реакции замещения атомов Гидрогена в бензеновом кольце. Гидроксильная группа активирует бензеновое кольцо и способствует замещению атомов Гидрогена у атомов Карбона с повышенной электронной плотностью.

Реакции с галогенами. В отличие от бензена фенол быстро и без катализатора взаимодействует с галогенами[1]. Это вещество, в частности, реагирует с водным раствором брома. Бромная вода обесцвечивается, и образуется белый осадок (рис. 42). При этом на атомы галогена замещаются все подвижные атомы Гидрогена в бензеновом кольце[2]:

$$C_6H_5OH + 3Br_2(\text{водный раствор}) \rightarrow C_6H_2Br_3OH \downarrow + 3HBr.$$

2,4,6-трибромофенол

Эта *реакция является качественной на фенол*.

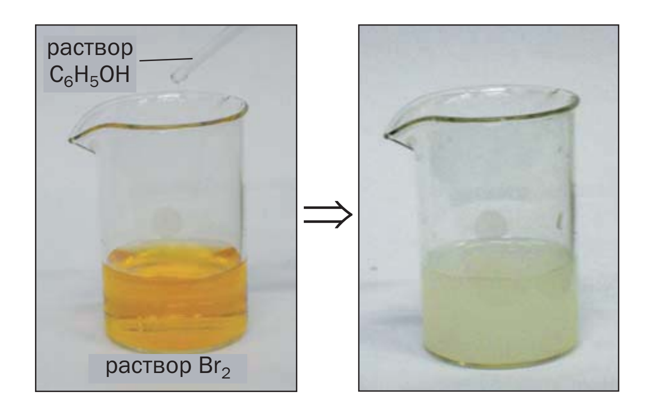


Рис. 42. Реакция фенола с бромной водой

Таким образом, взаимное влияние бензенового кольца и гидроксильной группы в молекуле фенола обуславливает кислотные свойства вещества и облегчает протекание реакций

[1] Кроме иода.
[2] Эти атомы находятся в *орто-* и *пара-*положениях.

замещения в бензеновом кольце (по сравнению с бензеном).

Получение и применение. Важнейшим источником фенола является каменноугольная смола. Его также получают из продуктов переработки нефти — бензена и пропена.

Это интересно
Два остатка молекулы фенола имеются в молекуле фенолфталеина.

Фенол используют в производстве феноло-формальдегидных смол (с. 199), красителей, взрывчатых веществ, пестицидов.

Физиологическое действие. Фенол очень токсичен. Он вызывает нарушения нервной системы, ожоги кожи, отрицательно влияет на кишечно-желудочный тракт, органы дыхания. При постоянном воздействии малых количеств фенола возникают головная боль и усиленное сердцебиение, нарушается сон, поражаются печень и почки. Существуют жесткие ограничения, касающиеся содержания фенола в воде, используемой в быту: в 1 л воды не должно быть более 0,001 мг этого вещества.

Загрязнение фенолом окружающей среды. Источниками поступления фенола в окружающую среду являются коксохимические заводы, предприятия по производству фенолоформальдегидных смол, сухой перегонке древесины. Попадая вместе с газовыми выбросами в атмосферу и со сточными водами в водоемы, фенол наносит серьезный вред растительному и животному миру. Очистка промышленных стоков от фенола является одной из важных технологических задач.

ВЫВОДЫ

Фенол C_6H_5OH — производное бензена, в молекуле которого вместо атома Гидрогена имеется гидроксильная группа. Вещество не относят к спиртам.

Фенол — твердое бесцветное вещество с характерным запахом, неограниченно раство-

римое в горячей воде. Это соединение взаимодействует со щелочными металлами, щелочами, бромной водой.

Фенол получают из углеводородного сырья. Его используют в производстве органических веществ, пластмасс.

Фенол очень токсичен.

?

114. Почему фенол, в отличие от этанола, проявляет кислотные свойства?
115. Как влияет бензеновое кольцо на полярность связи О–Н в молекуле фенола?
116. По материалам из интернета или других источников информации подготовьте сообщение о том, какие производства могут загрязнять окружающую среду фенолом.
117. Составьте уравнения реакций фенола с литием, калий гидроксидом и назовите образующиеся соединения.
118. Какой объем водорода (н. у.) выделится в результате взаимодействия 2,3 г натрия с избытком фенола?
119. Массовые доли Карбона и Оксигена в ароматическом органическом соединении равны 76,6 и 17,0 % соответственно, а относительная молекулярная масса — 94. Определите формулу вещества.

17 Альдегиды

Материал параграфа поможет вам:

- узнать о классе органических соединений — альдегидах;
- давать альдегидам систематические названия;
- получить представление о строении молекул альдегидов;
- выяснить свойства альдегидов, способы их получения и сферы применения.

Известно много органических веществ, в молекулах которых имеется двойная связь между атомами Карбона и Оксигена. Группу атомов $>C=O$ называют *карбонильной группой*. Она может быть соединена с углеводородным остатком и атомом Гидрогена: $R-C{\overset{O}{\underset{H}{\lessgtr}}}$.

Альдегиды

$R-C{\overset{O}{\underset{H}{\lessgtr}}}$

Это — общая формула веществ, название которых — *альдегиды*. В молекуле простейшего альдегида карбонильная группа связана с двумя атомами Гидрогена: $H-C{\overset{O}{\underset{H}{\lessgtr}}}$.

Группу атомов $-C{\overset{O}{\underset{H}{\lessgtr}}}$, или $-CHO$, называют *альдегидной группой*; она является характеристической группой соответствующего класса органических соединений.

Альдегиды — производные углеводородов, в молекулах которых атом Гидрогена замещен на альдегидную группу[1].

Название «альдегид» состоит из частей (они подчеркнуты) иноязычных слов al*cohol *(спирт) и dehyd*rogenatum *(лишенный Гидрогена). Действительно, молекула любого альдегида (например CH_3CHO) содержит на два атома Гидрогена меньше, чем молекула соответствующего спирта (CH_3-CH_2OH).

Общая формула насыщенных альдегидов — $C_nH_{2n+1}-C{\overset{O}{\underset{H}{\lessgtr}}}$, где $n = 0, 1, ...$ (упрощенный вариант формулы — $C_mH_{2m}O$; $m = 1, 2, ...$).

Названия. Систематическое название альдегида состоит из названия соответствующего углеводорода (при этом учитывают все атомы

---

[1] В молекуле простейшего альдегида эта группа атомов соединена с атомом Гидрогена.

главной карбоновой цепи в молекуле альдегида) и суффикса *-аль*. Нумерацию в цепи начинают с атома Карбона альдегидной группы. Примеры формул и названий альдегидов:

$$H{-}C{\begin{smallmatrix} \nearrow O \\ \searrow H \end{smallmatrix}} \qquad CH_3{-}C{\begin{smallmatrix} \nearrow O \\ \searrow H \end{smallmatrix}} \qquad \overset{4}{C}H_3{-}\overset{3}{C}H_2{-}\underset{\displaystyle CH_3}{\overset{2}{C}H}{-}\overset{1}{C}{\begin{smallmatrix} \nearrow O \\ \searrow H \end{smallmatrix}}$$

метаналь — этаналь — 2-метилбутаналь

Модели молекул метаналя и этаналя представлены на рисунке 43.

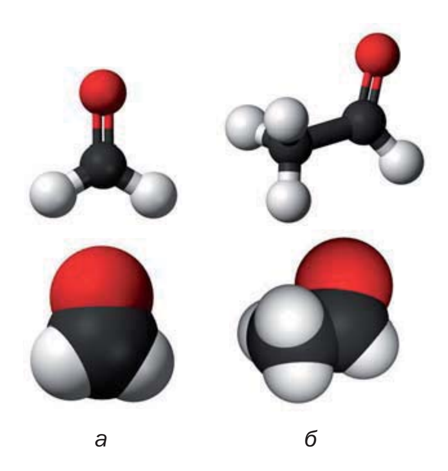


Рис. 43. Модели молекул: *а* — метаналя; *б* — этаналя

▶ Изобразите структурную формулу молекулы 2,2-диметилбутаналя.

Тривиальные названия альдегидов происходят от названий соответствующих карбоновых кислот (с. 117). Простейший альдегид HCHO называют муравьиным, альдегид CH_3CHO — уксусным[1].

Строение молекул. В молекуле альдегида атом Карбона карбонильной группы $\rangle C{=}O$ соединен с тремя атомами ковалентной связью, которая образовалась при перекрывании измененных по форме орбиталей. Эти четыре

[1] Другие названия этих веществ — формальдегид, ацетальдегид.

атома находятся в одной плоскости, а углы между прямыми, соединяющими их центры, равны 120°. *p*-Орбитали атома Карбона и атома Оксигена перекрываются над и под этой плоскостью (рис. 44). Электронная плотность двойной связи смещена к атому наиболее электроотрицательного элемента Оксигена:

$$\begin{matrix} H \\ H \end{matrix}\!\!>\!C{=}O \Rightarrow \begin{matrix} H \\ H \end{matrix}\!\!>\!\overset{\delta+}{C}{=}\overset{\delta-}{O}$$

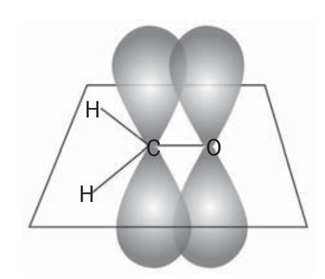


Рис. 44. Перекрывание *p*-орбиталей атомов Карбона и Оксигена в молекуле метаналя

Физические свойства. Простейший альдегид — метаналь — в обычных условиях является газом, имеет резкий запах и хорошо растворяется в воде. Этаналь и другие альдегиды с небольшими молекулярными массами — жидкости с неприятным, иногда удушливым запахом, растворимые в воде. Остальные альдегиды — твердые вещества, которые не растворяются в воде.

▶ Чем обусловлена растворимость некоторых альдегидов в воде?

Температуры кипения альдегидов ниже, чем соответствующих спиртов. Это объясняется отсутствием водородных связей между молекулами альдегида.

Химические свойства. Вследствие наличия в карбонильной группе двойной связи альдегиды могут вступать в реакции присоединения. Для веществ этого класса также характерны реакции окисления.

Реакции присоединения. Уксусный и другие альдегиды взаимодействуют с водородом

при наличии катализатора и превращаются в первичные спирты:

$$\underset{\text{этаналь}}{CH_3{-}C{\overset{O}{\underset{H}{\lessgtr}}}} + H_2 \xrightarrow{Ni,t} \underset{\text{этанол}}{CH_3{-}CH_2OH}.$$

В таких реакциях альдегиды восстанавливаются. *Суть восстановления органического соединения может состоять в увеличении количества атомов Гидрогена в его молекуле или уменьшении количества атомов Оксигена.*

Реакции окисления. Альдегиды легко окисляются (кислородом воздуха, раствором калий перманганата, другими веществами) с образованием соответствующих карбоновых кислот:

$$\underset{\text{этаналь}}{CH_3{-}C{\overset{O}{\underset{H}{\lessgtr}}}} \xrightarrow{+[O]} \underset{\text{этановая кислота}}{CH_3{-}C{\overset{O}{\underset{OH}{\lessgtr}}}}.$$

Это интересно
Оксид Ag_2O реагирует с раствором аммиака; продукт взаимодействия — растворимое соединение Аргентума.

Окисление альдегида также происходит при его взаимодействии с аммиачным раствором аргентум(I) оксида при нагревании. На внутренних стенках пробирки, в которой проводят опыт, образуется блестящий слой серебра (рис. 45). Реакцию называют реакцией «серебряного зеркала»; она является *качественной на альдегидную группу* в молекуле органического вещества:

$$R{-}C{\overset{O}{\underset{H}{\lessgtr}}} + Ag_2O + NH_3 \xrightarrow{t,\,H_2O} R{-}C{\overset{O}{\underset{ONH_4}{\lessgtr}}} + 2Ag\downarrow.$$

Продукт окисления альдегида — соль, образованная анионами карбоновой кислоты и катионами аммония NH_4^+.



Рис. 45. Пробирка с «серебряным зеркалом»

В другой качественной реакции на альдегидную группу используют свежеосажденный купрум(II) гидроксид. Если к этому веществу добавить альдегид и полученную смесь нагревать, то голубой цвет осадка изменяется до желтого вследствие образования купрум(I) гидроксида, а затем переходит в оранжево-красный, который имеет купрум(I) оксид (рис. 46):

$$R{-}C{\overset{\displaystyle /\!\!/ O}{\underset{\displaystyle \diagdown H}{}}} + 2Cu(OH)_2 \xrightarrow{t} R{-}C{\overset{\displaystyle /\!\!/ O}{\underset{\displaystyle \diagdown OH}{}}} + 2CuOH + H_2O;$$

$$2CuOH \xrightarrow{t} Cu_2O + H_2O.$$

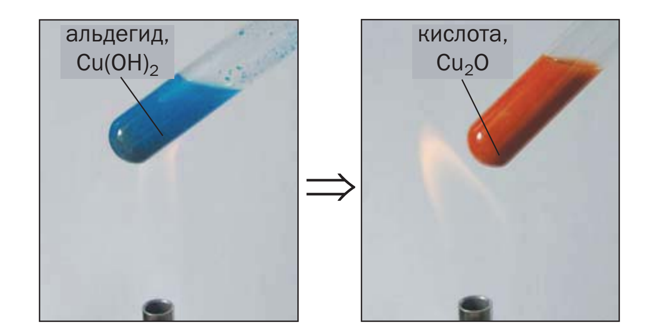


Рис. 46. Реакция альдегида с купрум(II) гидроксидом

Альдегиды — горючие вещества.

▶ Напишите уравнение реакции горения этаналя.

Получение. В промышленности альдегиды получают окислением первичных спиртов и алкенов, другими реакциями.

Методы получения уксусного альдегида (этаналя) основаны на реакциях окисления этена или этанола[1]:

$$CH_2{=}CH_2 + [O] \xrightarrow{k} CH_3{-}C{\overset{\displaystyle /\!\!/ O}{\underset{\displaystyle \diagdown H}{}}};$$

$$CH_3{-}CH_2OH + [O] \xrightarrow{k,\,t} CH_3{-}C{\overset{\displaystyle /\!\!/ O}{\underset{\displaystyle \diagdown H}{}}} + H_2O.$$

[1] Этаналь также получают дегидрированием этанола:

$$CH_3{-}CH_2OH \xrightarrow{k,\,t} CH_3{-}CHO + H_2.$$

Раньше этаналь получали в промышленности гидратацией этина. Эта реакция протекает при нагревании, наличии сульфатной кислоты, а также катализатора — Меркурий(II) сульфата:

$$HC{\equiv}CH + H_2O \xrightarrow{H_2SO_4,\ HgSO_4,\ t} CH_3{-}C{\overset{\displaystyle O}{\underset{\displaystyle H}{\lessgtr}}}.$$

Сейчас этаналь не получают таким способом из-за токсичности соединений Меркурия.

Применение. Метаналь, или формальдегид, является исходным веществом в производстве фенолоформальдегидных смол (с. 199). Водный раствор формальдегида с массовой долей вещества 40 % называют формалином. Его используют в качестве дезинфицирующего средства и консерванта биологических препаратов. Из уксусного альдегида производят уксусную кислоту, этиловый спирт, другие органические соединения. Некоторые альдегиды, имеющие приятный запах, применяют в парфюмерии.

Физиологическое действие. Многие альдегиды негативно влияют на нервную систему, раздражают кожу, вызывают аллергию. Метаналь и этаналь — канцерогенные вещества. Они содержатся в табачном дыме, газовых выбросах двигателей внутреннего сгорания. Метаналь может поступать в воздух из некоторых видов древесностружечных плит.

ВЫВОДЫ

Альдегиды — производные углеводородов, в молекулах которых атом Гидрогена замещен на альдегидную группу −CHO. Общая формула альдегидов *R*−CHO.

Систематическое название альдегида состоит из названия соответствующего углеводорода и суффикса -*аль*.

Метаналь в обычных условиях является газом, другие альдегиды — жидкости или твердые вещества. Соединения с небольшими относительными молекулярными массами растворяются в воде.

Для альдегидов характерны реакции присоединения и окисления. Альдегиды — горючие вещества.

Этаналь получают из этена, этанола.

Среди альдегидов наибольшее применение имеют метаналь и этаналь. Это — токсичные вещества.

?

120. Можно ли, исходя из строения молекулы этаналя, предсказать химические свойства соединения? Ответ обоснуйте.

121. Дайте систематические названия веществам с такими формулами:

а) $CH_3-\underset{CH_3}{\underset{|}{CH}}-\underset{CH_3}{\underset{|}{CH}}-C\overset{O}{\underset{H}{\lessgtr}}$;

б) $CH_3-\overset{CH_3}{\overset{|}{\underset{CH_3}{\underset{|}{C}}}}-CH_2-C\overset{O}{\underset{H}{\lessgtr}}$.

122. Изобразите структурные формулы молекул 2-метилпентаналя и 3-этилгексаналя.

123. Назовите соединения, образующиеся при восстановлении:
   а) метаналя;
   б) пропаналя.

124. Составьте уравнения реакций окисления спиртов с образованием:
   а) метаналя;
   б) пропаналя.

125. Запишите в общем виде уравнение реакции окисления насыщенного однoа́томного спирта в альдегид.

126. Выведите формулу альдегида, имеющего относительную молекулярную массу 86 и четвертичный атом Карбона в молекуле.

127. В результате реакции между 100 г раствора этаналя с массовой долей альдегида 40 % и аммиачным раствором аргентум(I) оксида выделилось 21,6 г серебра. Весь ли этаналь прореагировал? Дайте ответ на основании расчетов.

ДЛЯ ЛЮБОЗНАТЕЛЬНЫХ

Ацетон

Ацетон CH_3COCH_3 — один из наиболее распространенных органических растворителей (рис. 47). Его используют в быту для разбавления красок, выведения пятен, очистки различных поверхностей от органических загрязнений.



Рис. 47. **Емкость с ацетоном**

Структурная формула молекулы ацетона — $CH_3-\underset{\underset{O}{\|}}{C}-CH_3$. В этой молекуле, как и в молекулах альдегидов, имеется карбонильная группа $>C=O$, но она соединена с двумя углеводородными остатками (рис. 48). Ацетон относится к кетонам — веществам с общей формулой $R-C\begin{smallmatrix}\nearrow O \\ \searrow R'\end{smallmatrix}$ (углеводородные остатки могут быть одинаковыми либо разными). У этого соединения есть изомер среди альдегидов:

$$CH_3-\underset{\underset{O}{\|}}{C}-CH_3 \qquad CH_3-CH_2-C\begin{smallmatrix}\nearrow O \\ \searrow H\end{smallmatrix}$$



Рис. 48. **Модель молекулы ацетона**

Ацетон — бесцветная легковоспламеняющаяся жидкость со специфическим запахом, которая неограниченно растворяется в воде

и кипит при температуре +56,5 °C. В отличие от альдегидов ацетон не реагирует с аммиачным раствором аргентум(I) оксида, а также с купрум(II) гидроксидом в щелочной среде.

Химическая промышленность потребляет значительные количества ацетона. Он служит растворителем красок, лаков, синтетических смол, используется в производстве ацетатного шелка, органического стекла, фото- и кинопленки.

18 Карбоновые кислоты

Материал параграфа поможет вам:

- вспомнить, какие вещества относятся к карбоновым кислотам;
- расширить свои знания о классификации кислот этого типа;
- составлять систематические названия кислот;
- получить информацию об изомерии карбоновых кислот.

Одним из важнейших классов оксигенсодержащих органических соединений является класс *карбоновых кислот*. Вы уже знаете, что в молекулах этих веществ имеется характеристическая группа с двумя атомами Оксигена: $-C\begin{smallmatrix}\nearrow O \\ \searrow OH\end{smallmatrix}$, или $-COOH$. Ее название — *карбоксильная группа*.

Карбоновые кислоты — производные углеводородов, в молекулах которых имеется одна или несколько карбоксильных групп.

Слово «карбоксильная» состоит из частей названий (они подчеркнуты) групп атомов C=O и O–H: «<u>карб</u>онильная», «гидр<u>оксильная</u>».

Общая формула карбоновых кислот с одной карбоксильной группой в молекуле —

$$R\text{–}C\genfrac{}{}{0pt}{}{\diagup\!\!\!\!=O}{\diagdown OH}$$, или $R\text{–}COOH$.

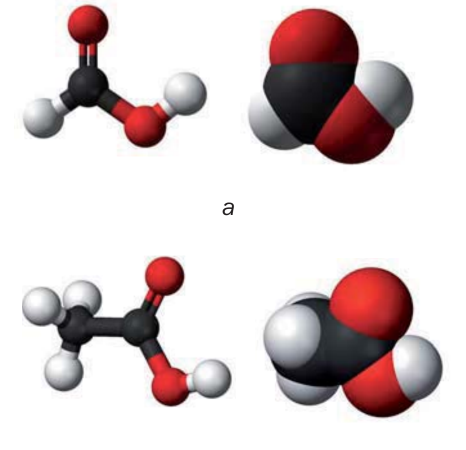
Распространенность в природе. Карбоновые кислоты содержатся в растениях (например, яблочная — в яблоках, винограде; лимонная — в цитрусовых; щавелевая — в щавеле, ревене), в животном мире (муравьиная — в выделениях муравьев, молочная — в молоке млекопитающих, мышцах после физической нагрузки). Не удивительно, что тривиальные названия некоторых кислот указывают на их природные источники.

Классификация. Карбоновые кислоты классифицируют по нескольким признакам.

Одноосно́вные карбоновые кислоты

$$R\text{–}C\genfrac{}{}{0pt}{}{\diagup\!\!\!\!=O}{\diagdown OH}$$

Учитывая количество карбоксильных групп в молекуле, различают *одноосно́вные* карбоновые кислоты (молекула содержит одну группу –COOH, рис. 49), *двухосно́вные* карбоновые кислоты (молекула содержит две группы –COOH) и т. д.



а

б

Рис. 49. Модели молекул муравьиной (*а*) и уксусной (*б*) кислот

В соответствии с особенностями химической связи в углеводородных остатках карбоновые кислоты делят на *насыщенные* (табл. 3), *ненасыщенные* (например, акриловая кис-

лота $CH_2=CH-COOH$, олеиновая кислота $CH_3-(CH_2)_7-CH=CH-(CH_2)_7-COOH$), *ароматические* (бензойная кислота C_6H_5-COOH).

Общая формула насыщенных одноосно́вных карбоновых кислот — $\mathbf{C_nH_{2n+1}COOH}$, где $n = 0, 1, ...$. Сложив все атомы каждого элемента, получим формулу $C_{n+1}H_{2n+2}O_2$, или $C_mH_{2m}O_2$ ($m = 1, 2, ...$).

В молекулах некоторых органических кислот, кроме карбоксильных групп, имеются другие характеристические группы. Учитывая это, различают аминокислоты, гидроксикислоты и др. Формулы и названия важнейших гидроксикислот:

$$CH_3-\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{CH}}-COOH$$

молочная

$$HOOC-CH_2-\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{CH}}-COOH$$

яблочная

$$HOOC-CH_2-\overset{\displaystyle COOH}{\overset{|}{\underset{\displaystyle OH}{\underset{|}{C}}}}-CH_2-COOH$$

лимонная

Карбоновые кислоты, молекулы которых содержат 10 и более атомов Карбона, называют *высшими*.

Это интересно
Для многих карбоновых кислот истинные формулы отличаются от простейших.

В молекулах простейших по составу муравьиной HCOOH и щавелевой HOOC–COOH кислот нет углеводородных остатков.

Названия. Для карбоновых кислот чаще всего используют тривиальные названия (табл. 3).

Систематическое название одноосно́вной карбоновой кислоты состоит из двух слов. Первое слово начинается с названия углеводорода с таким же числом атомов Карбона, что и в главной карбоновой цепи молекулы кислоты (включая атом Карбона карбоксильной группы), имеет суффикс *-ов-* и окончание *-ая* (табл. 3). Вторым является слово *кислота*. Нумерацию в цепи начинают с атома Карбона карбоксильной группы, а при наличии замес-

тителей их положения и названия (по алфавиту) указывают в начале названия кислоты:

$$\overset{4}{CH_3}-\underset{\displaystyle CH_3}{\overset{3}{C}H}-\underset{\displaystyle CH_3}{\overset{2}{C}H}-\overset{1}{C}\begin{matrix}\nearrow O \\ \searrow OH\end{matrix}.$$

2,3-диметилбутановая кислота

Таблица 3

Формулы и названия насыщенных одноосно́вных карбоновых кислот

Формула кислоты	Название кислоты	
	тривиальное	**систематическое**
$H-COOH$	Муравьиная	Метановая
CH_3-COOH	Уксусная	Этановая
CH_3-CH_2-COOH	Пропионовая	Пропановая
$CH_3-CH_2-CH_2-COOH$	Масляная	Бутановая
$CH_3-\underset{\displaystyle CH_3}{CH}-COOH$	Изомасляная	Метилпропановая
$CH_3-CH_2-CH_2-CH_2-COOH$	Валериановая	Пентановая
$CH_3-\underset{\displaystyle CH_3}{CH}-CH_2-COOH$	Изовалериановая	3-Метилбутановая
$CH_3-(CH_2)_4-COOH$	Капроновая	Гексановая
. . .		
$CH_3-(CH_2)_{14}-COOH$	Пальмитиновая	Гексадекановая
$CH_3-(CH_2)_{16}-COOH$	Стеариновая	Октадекановая

Для простейших карбоновых кислот иногда применяют латинские названия: $HCOOH$ — формиатная кислота, CH_3COOH — ацетатная кислота. Чаще используют соответствующие названия их анионов:

$$H-C\begin{matrix}\nearrow O \\ \searrow O^-\end{matrix} \qquad CH_3-C\begin{matrix}\nearrow O \\ \searrow O^-\end{matrix}$$

формиат-ион   ацетат-ион

От этих названий происходят названия солей карбоновых кислот.

▶ Напишите формулы калий формиата, кальций ацетата.

Систематические названия анионов карбоновых кислот составляют, добавляя к названию соответствующего углеводорода суффикс -*оат*: $HCOO^-$ — метаноат-ион, CH_3COO^- — этаноат-ион.

Изомерия карбоновых кислот (структурная) обусловлена разным строением карбоновой цепи молекул, а ненасыщенных кислот — еще и положением кратной связи. Для трех простейших одноосно́вных карбоновых кислот насыщенного ряда нет изомеров-кислот, а формулу C_3H_7COOH имеют две кислоты (табл. 3).

ВЫВОДЫ

Карбоновые кислоты — производные углеводородов, молекулы которых содержат одну или несколько карбоксильных групп. Общая формула одноосно́вных карбоновых кислот — *R*–COOH.

Карбоновые кислоты распространены в природе.

Карбоновые кислоты классифицируют по числу карбоксильных групп в молекуле, особенностям ковалентной связи в карбоновой цепи. Для этих веществ используют преимущественно тривиальные названия.

Изомерия карбоновых кислот обусловлена разным строением карбоновой цепи в молекулах, а ненасыщенных кислот — еще и положением кратных связей.

?

128. Назовите причины разнообразия карбоновых кислот.

129. Найдите соответствие.

Название кислоты	*Тип кислоты*
1) щавелевая;	а) одноосно́вная;
2) уксусная;	б) двухосно́вная;
3) бензойная;	в) насыщенная;
4) акриловая;	г) ароматическая;
5) олеиновая;	д) высшая;
6) стеариновая;	е) ненасыщенная.

130. Дайте систематические названия кислотам, молекулы которых имеют следующие структурные формулы:

а) $CH_3-CH_2-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}-COOH$;

б) $CH_3-\underset{\displaystyle C_2H_5}{\underset{|}{CH}}-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}-COOH$;

в) $\underset{\displaystyle Br}{\underset{|}{CH_2}}-CH_2-COOH$.

131. Напишите структурные формулы молекул таких кислот:
   а) диметилпропановой;
   б) 3-метил-2-этилпентановой;
   в) 3-метил-2-хлоропентановой.

132. Сколько кислот-изомеров имеют формулу $C_5H_{10}O_2$? Ответ обоснуйте.

133. Изобразите структурные формулы молекул кислот $C_6H_{12}O_2$, если главные цепи в них состоят из четырех атомов Карбона. Назовите вещества.

134. Какова формула насыщенной одноосно́вной карбоновой кислоты, если:
   а) молярная масса соединения 130 г/моль;
   б) массовая доля Оксигена в соединении равна 31,37 %?

135. Насыщенная одноосно́вная карбоновая кислота имеет молярную массу 116 г/моль и два третичных атома Карбона в углеводородном остатке. Выведите формулу кислоты и дайте ей название.

136. При полном сгорании паров карбоновой кислоты массой 0,6 г образовалось 448 мл (н. у.) углекислого газа и 0,36 г воды. Выведите формулу соединения.

19 Насыщенные одноосновные карбоновые кислоты

Материал параграфа поможет вам:

- прогнозировать свойства карбоновых кислот, исходя из строения их молекул;
- пополнить свои знания о свойствах карбоновых кислот;
- ознакомиться со способами получения этановой (уксусной) кислоты.

Строение молекул. В молекуле карбоновой кислоты атом Карбона карбоксильной группы

$-C\begin{smallmatrix}\nearrow O \\ \searrow OH\end{smallmatrix}$ соединен с двумя атомами Оксигена и атомом Карбона углеводородного остатка[1]. Углы между направлениями соответствующих химических связей приближаются к 120°. Это — результат перекрывания изменившихся по форме орбиталей атома Карбона с орбиталями соседних атомов. В образовании двойной связи C=O принимают участие также неспаренные *p*-электроны атома Карбона и атома Оксигена (рис. 50).

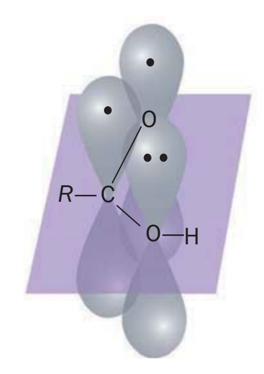


Рис. 50. **Перекрывание *p*-орбиталей атомов в карбоксильной группе**

p-Орбиталь атома Карбона перекрывается не только с *p*-орбиталью атома Оксигена карбонильной группы C=O, но и с *p*-орбиталью атома Оксигена гидроксильной группы OH, в которой находится пара неподеленных электронов. Образуется общая электронная система (рис. 50). Электронная плотность в этой системе в значительной степени смещена к атому Оксигена карбонильной группы

$$R \rightarrow C \begin{smallmatrix}\nearrow \ddot{O} \\ \searrow \ddot{O}^{\delta-} \leftarrow H^{\delta+}\end{smallmatrix},$$

что приводит к бóльшей полярности связи O–H в молекулах карбоновых кислот, чем в молекулах спиртов.

[1] Или атомом Гидрогена (в молекуле метановой кислоты HCOOH).

Указанные особенности строения молекул карбоновых кислот обуславливают возможности превращений этих веществ с разрывом полярных связей O–H, а также C–OH.

Физические свойства. Муравьиная, уксусная и пропионовая кислоты в обычных условиях являются жидкостями, имеющими резкий запах, которые неограниченно смешиваются с водой с образованием раствора. Растворению способствует образование водородных связей между молекулами кислоты и воды. Масляная и другие кислоты с количеством атомов Карбона в молекулах до девяти — маслянистые жидкости с неприятным запахом, плохо растворимые в воде. Высшие насыщенные карбоновые кислоты — твердые, нерастворимые в воде вещества без запаха.

Температуры кипения карбоновых кислот выше, чем однoáтомных спиртов с таким же числом атомов Карбона в молекулах. Это свидетельствует о более сильном межмолекулярном взаимодействии в кислотах. Если между двумя молекулами спирта возникает только одна водородная связь, то между молекулами кислоты их может быть две[1]:

$$R-C\begin{matrix} \nearrow O\cdots H-O \searrow \\ \searrow O-H\cdots O \nearrow \end{matrix}C-R.$$

Химические свойства. Карбоновые кислоты, как и неорганические кислоты, диссоциируют в водных растворах с образованием катионов Гидрогена и анионов кислотных остатков:

$$R\text{–COOH} \rightleftarrows \text{H}^+ + R\text{–COO}^-.$$

Электролитическая диссоциация этих веществ происходит вследствие разрыва полярных связей O–H в молекулах.

▶ Составьте уравнения электролитической диссоциации муравьиной и уксусной кислот.

[1] Совокупность двух соединенных молекул называют димéром. Димеры циклического строения достаточно устойчивы.

Все карбоновые кислоты слабые. С ростом карбоновой цепи в молекулах сила этих кислот уменьшается:

$$H{-}C{\begin{smallmatrix}{\nearrow}O\\ \searrow OH\end{smallmatrix}} > CH_3{-}C{\begin{smallmatrix}{\nearrow}O\\ \searrow OH\end{smallmatrix}} > CH_3{-}CH_2{-}C{\begin{smallmatrix}{\nearrow}O\\ \searrow OH\end{smallmatrix}} > \ldots$$

ЛАБОРАТОРНЫЙ ОПЫТ № 1

Обнаружение органических кислот в пищевых продуктах

С помощью пипетки или стеклянной палочки нанесите по 1—2 капли жидкого молочнокислого продукта, сока квашеной капусты, яблочного или лимонного сока на полоски универсального индикатора. Изменяется ли цвет индикатора в каждом случае? Если да, то как именно?

Сделайте соответствующие выводы.

Реакции с металлами, оксидами, гидроксидами, солями. Карбоновые кислоты, как и большинство неорганических кислот, взаимодействуют с металлами

$$Fe + 2CH_3COOH \rightarrow (CH_3COO)_2Fe + H_2\uparrow,$$

осно́вными оксидами, основаниями, некоторыми амфотерными оксидами и гидроксидами, солями слабых кислот:

$$2HCOOH + Ba(OH)_2 \rightarrow (HCOO)_2Ba + 2H_2O;$$
$$2CH_3COOH + Na_2CO_3 \rightarrow 2CH_3COONa + CO_2\uparrow + H_2O.$$

▶ Составьте ионно-молекулярное уравнение реакции метановой кислоты с барий гидроксидом.

Реакции со спиртами. Карбоновые кислоты при наличии концентрированной сульфатной кислоты взаимодействуют со спиртами. Продуктами этих реакций являются *эстеры*[1].

---

[1] Подробно эстеры и реакция эстерификации рассмотрены в § 21.

Отсюда и название — реакция *эстерификации*:

$$CH_3{-}C{\overset{O}{\underset{}{\lessgtr}}}\boxed{OH + H}{-}O{-}C_2H_5 \xrightleftharpoons{H_2SO_4(конц.)} CH_3{-}C{\lessgtr}^{O}_{O-C_2H_5} + H_2O.$$

уксусная кислота   этиловый спирт   этиловый эстер уксусной кислоты

Установлено, что каждая молекула воды образуется за счет OH-группы молекулы кислоты и атома Гидрогена гидроксильной группы молекулы спирта.

Уксусная кислота устойчива к действию окислителей. Она не взаимодействует, например, с калий перманганатом. Однако пары этой кислоты можно поджечь на воздухе.

Муравьиная кислота — единственная из карбоновых кислот, в молекуле которой имеется альдегидная группа $-C{\lessgtr}^{O}_{H}$***. Это вещество, как и альдегиды, окисляется калий перманганатом, аргентум(I) оксидом в аммиачном растворе (дает реакцию «серебряного зеркала», рис. 45):***

$$H{-}C{\lessgtr}^{O}_{OH} + [O] \rightarrow \left[HO{-}C{\lessgtr}^{O}_{OH},\ или\ H_2CO_3\right] \rightarrow$$
$$\rightarrow CO_2 + H_2O,$$

$$HCOOH + Ag_2O + 2NH_3 \xrightarrow{t,\ H_2O} 2Ag\downarrow + (NH_4)_2CO_3.$$

При нагревании с концентрированной сульфатной кислотой муравьиная кислота разлагается на карбон(II) оксид и воду:

$$HCOOH \xrightarrow{t,\ H_2SO_4(конц.)} CO\uparrow + H_2O.$$

Получение. Карбоновые кислоты получают в *промышленности* преимущественно с помощью реакций окисления.

Основной и перспективный метод получения уксусной и муравьиной кислот заключается в окислении н-бутана и метана:

$$2CH_3{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_3 + 5O_2 \xrightarrow{t,\ p,\ k}$$
$$\rightarrow 4CH_3COOH + 2H_2O;$$
$$2CH_4 + 3O_2 \xrightarrow{t,\ k} 2HCOOH + 2H_2O.$$

Карбоновые кислоты образуются при окислении альдегидов и спиртов:

$$CH_3-C\overset{O}{\underset{H}{\lessgtr}} \xrightarrow{+[O]} CH_3-C\overset{O}{\underset{OH}{\lessgtr}};$$

$$CH_3-CH_2-OH \xrightarrow[-H_2O]{+[O],\ k,\ t} CH_3-C\overset{O}{\underset{H}{\lessgtr}} \xrightarrow{+[O]} CH_3-C\overset{O}{\underset{OH}{\lessgtr}}.$$

В *лаборатории* карбоновые кислоты чаще всего получают взаимодействием их солей с сильными неорганическими кислотами (обычно сульфатной):

$$2RCOONa + H_2SO_4 \rightarrow 2RCOOH + Na_2SO_4.$$

Получать уксусную кислоту в лаборатории нецелесообразно, поскольку ее в большом количестве выпускает промышленность.

Применение. Из карбоновых кислот больше всего используют этановую (уксусную) и метановую (муравьиную) кислоты. Уксусная кислота применяется в пищевой, кожевенной, химической промышленности, при крашении тканей, в производстве искусственных волокон, домашнем хозяйстве (для консервирования, в качестве пищевой приправы и т. д.). Промышленность выпускает столовый уксус (водный раствор уксусной кислоты с ее массовой долей 5—10 %), уксусную эссенцию (70—80 %), яблочный уксус. Муравьиную кислоту применяют в органическом синтезе, текстильной промышленности, медицине, производстве красок, резины.

ВЫВОДЫ

Карбоновые кислоты в обычных условиях являются жидкостями или твердыми веществами. Растворимость их в воде уменьшается с возрастанием числа атомов Карбона в молекулах. Эти вещества имеют более высокие температуры кипения, чем соответствующие спирты.

Карбоновые кислоты диссоциируют в водных растворах, реагируют с металлами, некоторыми

оксидами, гидроксидами, солями, а также со спиртами.

В промышленности карбоновые кислоты получают окислением органических соединений.

Карбоновые кислоты используют во многих сферах.



137. Объясните, почему полярность связи O–H в молекулах карбоновых кислот бóльшая, чем в молекулах спиртов.
138. Запишите схему электролитической диссоциации пропановой кислоты. Каких частиц в растворе соединения больше — молекул кислоты или ионов?
139. Сравните химические свойства уксусной и хлоридной кислот.
140. Напишите уравнения реакций и дайте названия их продуктам:
   а) $HCOOH + Mg \rightarrow$
   $CH_3COOH + Mn(OH)_2 \rightarrow$
   $C_2H_5COOH + K_2CO_3 \rightarrow$
   б) $CH_3COOH + CuO \rightarrow$
   $HCOOH + Na_2SiO_3 \rightarrow$
   $C_2H_5COOH + CH_3OH \rightarrow$
141. Замените в ионно-молекулярных уравнениях точки формулами ионов, молекул и приведите соответствующие молекулярные уравнения:
   а) $H^+ + HCOO^- \rightarrow ...$;
   б) $OH^- + C_2H_5COOH \rightarrow ... + ...$;
   в) $SiO_3^{2-} + 2CH_3COOH \rightarrow ... + ...$.
142. Впишите в схемах превращений вместо точек формулы соединений и составьте уравнения соответствующих реакций:
   а) $C \rightarrow CaC_2 \rightarrow ... \rightarrow CH_3CHO \rightarrow ... \rightarrow CH_3COONa$;
   б) $C_2H_4 \rightarrow C_2H_5OH \rightarrow CH_3CHO \rightarrow ... \rightarrow CH_3COOC_3H_7$.

   Укажите условия, необходимые для протекания реакций.
143. Определите массовую долю уксусной кислоты в растворе, полученном при добавлении к 100 г 80 %-го раствора кислоты:
   а) 100 мл воды;
   б) 100 г 9 %-го раствора этой кислоты;
   в) 100 мл 20 %-го раствора этой кислоты, плотность которого 1,026 г/мл.
144. Какую массу раствора натрий гидроксида с массовой долей щелочи 20 % необходимо взять для нейтрализации 50 г раствора пропановой кислоты с массовой долей кислоты 7,4 %?
145. Каким объемом воды следует разбавить 150 мл уксусной эссенции (раствор уксусной кислоты с ее массовой долей 70 %, имеющий плотность 1,07 г/см^3), чтобы приготовить раствор с массовой долей уксусной кислоты 5 %?

146. В смесь муравьиной и уксусной кислот массой 15,2 г добавили избыток цинка. При этом выделилось 3,36 л газа (н. у.). Определите массовые доли кислот в смеси.

20 Решение задач при наличии примесей в реагентах

Материал параграфа поможет вам:

- вычислять количество вещества, массу или объем продукта реакции с использованием сведений о содержании примесей в реагенте;
- определять массовую долю примесей в реагенте по известным количествам вещества, массам или объемам реагента и продукта реакции.

Вы знаете, что абсолютно чистых веществ не бывает. Не только природные вещества, но и полученные на заводах, в лабораториях содержат посторонние вещества, или примеси. В незначительном количестве примеси имеются в химических реактивах; они попадают при производстве реактивов, их хранении, использовании (рис. 51). Поэтому перед проведением химической реакции с целью получения заданной массы или объема определенного вещества необходимо учитывать содержание примесей в

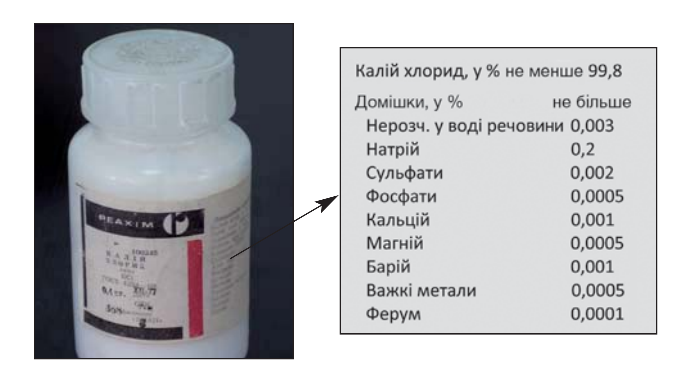


Рис. 51. **Содержание примесей в химическом реактиве**

реагентах. Для твердых и жидких веществ указывают массовые доли примесей, а для газов, как правило, — объемные доли.

Рассмотрим, как выполняют вычисления по химическим уравнениям, когда реагенты имеют примеси. Условимся, что эти примеси не принимают участие в реакциях.

ЗАДАЧА 1. Какой объем водорода выделится (н. у.) при взаимодействии 1,25 г магния с достаточным количеством этановой кислоты, если массовая доля примесей в металле равна 4 %?

Дано:

m(Mg с прим.) = = 1,25 г

w(прим.) = 4 %

н. у.

$V(H_2)$ — ?

Решение

1. Определяем массовую долю магния в образце металла, содержащем примеси:

$$w(Mg) = 100\ \% - 4\ \% = 96\ \%, \text{ или } 0{,}96.$$

2. Рассчитываем массу и количество вещества магния (без примесей):

$$m(Mg) = 1{,}25\ г \cdot 0{,}96 = 1{,}2\ г;$$

$$n(Mg) = \frac{m(Mg)}{M(Mg)} = \frac{1{,}2\ г}{24\ г/моль} = 0{,}05\ моль.$$

3. Находим объем водорода при нормальных условиях. Учитываем, что в соответствии с химическим уравнением 1 моль магния вытесняет 1 моль или 22,4 л (н. у.) водорода:

$$\underset{1\ моль}{\overset{0{,}05\ моль}{Mg}} + 2CH_3COOH \rightarrow (CH_3COO)_2Mg + \underset{22{,}4\ л}{\overset{x\ л}{H_2}}\uparrow;$$

$$x = V(H_2) = 0{,}05 \cdot 22{,}4 = 1{,}12\ (л).$$

Ответ: $V(H_2)$ = 1,12 л.

ЗАДАЧА 2. В результате сгорания 6,15 г этанола, содержавшего примесь воды, образовалось 5,6 л углекислого газа (н. у.). Определить массовую долю примеси в спирте.

Дано:

$m(C_2H_5OH$ с прим.) = = 6,15 г

$V(CO_2$, н. у.) = = 5,6 л

---

w(прим.) — ?

Решение

1-й способ

1. Составляем уравнение реакции:

$$C_2H_5OH + 3O_2 \rightarrow 2CO_2 + 3H_2O.$$

2. Находим количество вещества углекислого газа:

$$n(CO_2) = \frac{V(CO_2)}{V_М} = \frac{5{,}6\ л}{22{,}4\ л/моль} = 0{,}25\ моль.$$

3. Определяем количество вещества спирта (без примеси воды).

Поскольку из 1 моль спирта в соответствии с химическим уравнением образуется 2 моль (т. е. вдвое больше) углекислого газа

$$\overset{x\text{ моль}}{\underset{1\text{ моль}}{C_2H_5OH}} + 3O_2 \rightarrow \overset{0{,}25\text{ моль}}{\underset{2\text{ моль}}{2CO_2}} + 3H_2O,$$

$$\text{то } x = n(C_2H_5OH) = \frac{1}{2}n(CO_2) =$$

$$= \frac{1}{2} \cdot 0{,}25\text{ моль} = 0{,}125\text{ моль}.$$

4. Находим массу спирта (без примеси воды):

$$m(C_2H_5OH) = n(C_2H_5OH) \cdot M(C_2H_5OH) =$$

$$= 0{,}125\text{ моль} \cdot 46\text{ г/моль} = 5{,}75\text{ г}.$$

5. Рассчитываем массу и массовую долю примеси воды в спирте:

$$m(\text{прим.}) = 6{,}15\text{ г} - 5{,}75\text{ г} = 0{,}4\text{ г};$$

$$w(\text{прим.}) = \frac{m(\text{прим.})}{m(C_2H_5OH\text{ с прим.})} = \frac{0{,}4\text{ г}}{6{,}15\text{ г}} =$$

$$= 0{,}065\text{, или } 6{,}5\ \%.$$

2-й способ

1. Определяем массу спирта (без примеси), который вступил в реакцию. Для этого составляем уравнение реакции с соответствующими записями над и под формулами веществ:

$$\overset{x\text{ г}}{\underset{46\text{ г}}{C_2H_5OH}} + 3O_2 \rightarrow \overset{5{,}6\text{ л}}{\underset{2 \cdot 22{,}4\text{ л}}{2CO_2}} + 3H_2O$$

(46 г — масса 1 моль спирта, а 2 · 22,4 л — объем 2 моль CO_2 при н. у.).

Отсюда

$$x = m(C_2H_5OH) = \frac{46\text{ г} \cdot 5{,}6\text{ л}}{2 \cdot 22{,}4\text{ л}} = 5{,}75\text{ г}.$$

2. Вычисляем массовую долю спирта в его смеси с примесью (водой):

$$w(C_2H_5OH) = \frac{m(C_2H_5OH)}{m(C_2H_5OH\text{ с прим.})} = \frac{5{,}75\text{ г}}{6{,}15\text{ г}} =$$

$$= 0{,}935\text{, или } 93{,}5\ \%.$$

3. Находим массовую долю примеси воды в спирте:

$$w(\text{прим.}) = 100\ \% - 93{,}5\ \% = 6{,}5\ \%.$$

Ответ: w(прим.) = 6,5 %.

ВЫВОДЫ

Количественные расчеты химических превращений с участием веществ, содержащих примеси, проводят в два этапа. Сначала определяют массу, объем или количество вещества реагента без примесей, а затем, по уравнению реакции, — массу, объем или количество вещества продукта.



147. Какую максимальную массу этанола можно получить из 25 $м^3$ этена (н. у.), если этот углеводород содержит 8 % этана?
148. При дегидратации 16,7 г пропан-1-ола, содержащего примесь воды, образовалось 5,6 л углеводорода (н. у.). Определите массовую долю воды в спирте.
149. Содержал ли фенол заметное количество примесей, если для реакции с натрием взяли 23,6 г фенола, а получили 29 г фенолята?
150. Какую максимальную массу этаналя можно получить из 20 г кальций карбида, в котором содержится 12 % примесей?
151. Какой объем водорода (н. у.) выделится в результате взаимодействия 2 г лития с достаточным количеством муравьиной кислоты, если массовая доля примесей в металле равна 3 %?
152. Вычислите массовую долю примесей в этене, если для реакции с бромом взяли 3,7 г этого газа, а прореагировало 20 г брома.
153. Найдите массу углекислого газа, образовавшегося при сжигании 1 т угля в избытке воздуха, если суммарная массовая доля всех элементов в угле, кроме Карбона, составляла 10 %.

21 Эстеры

Материал параграфа поможет вам:

- различать эстеры среди других соединений;
- составлять формулы эстеров и называть эти вещества;
- узнать о свойствах и получении эстеров.

Запах многих цветов, плодов, фруктов, ягод обусловлен наличием в них органических веществ определенного класса — эстеров.

Эстеры — производные карбоновых кислот, в молекулах которых атом Гидрогена карбоксильной группы замещен на углеводородный остаток.[1]

Общая формула эстеров — $R{-}C{\overset{\displaystyle O}{\underset{\displaystyle O-R'}{\lessgtr}}}$, или $R{-}COOR'$.

Получение. Эстеры образуются при взаимодействии карбоновых кислот со спиртами (§ 19):

$$\underset{\text{кислота}}{CH_3{-}C{\overset{O}{\underset{OH}{\lessgtr}}}} + \underset{\text{спирт}}{H{-}O{-}CH_3} \xrightleftharpoons{H_2SO_4(\text{конц.})} \underset{\text{эстер}}{CH_3{-}C{\overset{O}{\underset{O-CH_3}{\lessgtr}}}} + H_2O.$$

Эстеры
$R{-}C{\overset{O}{\underset{O-R'}{\lessgtr}}}$

Такие реакции, как вам известно, называют реакциями эстерификации. Они являются обратимыми; одновременно с прямой реакцией протекает обратная — взаимодействие эстера с водой. Чтобы достичь более полного превращения кислоты и спирта в эстер, реакционную смесь нагревают для удаления паров одного из продуктов реакции.

Реакции обмена между веществом и водой называют реакциями *гидролиза*.

Названия. Систематические названия эстеров состоят из двух частей. Первой частью является название углеводородного остатка в молекуле соответствующего спирта, а второй — название углеводорода, от которого происходит кислота, с суффиксом *-оат*:

$$\underset{\text{метилэтаноат}}{CH_3{-}C{\overset{O}{\underset{O-CH_3}{\lessgtr}}}}.$$

[1] Раньше такие соединения называли сложными эфирами.

В других названиях эстеров используют название углеводородного остатка молекулы спирта и название карбоновой кислоты (или ее остатка). Например, эстер CH_3COOCH_3 (рис. 52) называют метиловым эстером уксусной кислоты или метилацетатом.

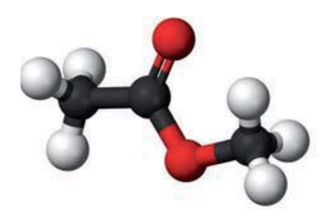


Рис. 52. Шаростержневая модель молекулы метилэтаноата

▶ Предложите для этилпропаноата другое название и изобразите структурную формулу молекулы соединения.

Свойства. Эстеры с небольшими молекулярными массами являются бесцветными летучими жидкостями преимущественно с приятным запахом. Так, метилбутаноат $CH_3CH_2CH_2COOCH_3$ имеет аромат яблок, бутилэтаноат $CH_3COOCH_2CH_2CH_2CH_3$ — груш, этилбутаноат $CH_3CH_2CH_2COOC_2H_5$ — ананаса, а бензилэтаноат $CH_3COOCH_2C_6H_5$ — жасмина (рис. 53). Эстеры с несколькими десятками атомов Карбона в молекулах — твердые вещества, не имеющие запаха. Такие эстеры

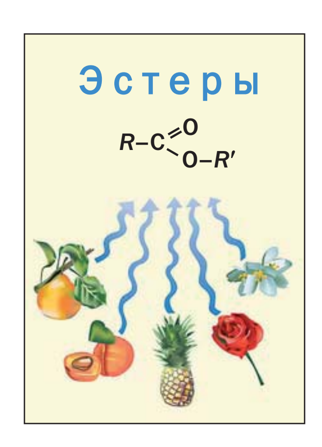


Рис. 53. Природные источники эстеров

входят в состав пчелиного воска (больше всего в нем эстера $C_{15}H_{31}COOC_{30}H_{61}$, производного пальмитиновой кислоты).

Молекулы эстеров не содержат гидроксильных групп и не могут образовывать водородные связи. Поэтому эти вещества нерастворимы в воде, но растворяются в органических растворителях.

Эстеры медленно взаимодействуют с водой, т. е. подвергаются гидролизу. При наличии кислот или щелочей[1] скорость этой реакции возрастает.

▶ Составьте уравнение реакции гидролиза метилпропаноата.

Это интересно
Ненасыщенный эстер метилметакрилат используют в производстве органического стекла.

Эстеры — горючие вещества.

Применение. Некоторые эстеры карбоновых кислот являются компонентами духов, косметических средств, фруктовых эссенций. Этилацетат и этилформиат служат растворителями для красок и лаков.

ВЫВОДЫ

Эстеры — производные карбоновых кислот, в молекулах которых атом Гидрогена карбоксильной группы замещен на углеводородный остаток. Общая формула эстеров — *R*–COO*R′*. Многие эстеры распространены в природе.

Эстеры с небольшими молекулярными массами являются бесцветными летучими жидкостями, обычно с приятным запахом. Они растворяются в органических растворителях, подвергаются гидролизу, горят. Эстеры образуются при взаимодействии спиртов с карбоновыми кислотами. Их используют в парфюмерии, косметике, в качестве пищевых добавок.

[1] В щелочной среде при гидролизе эстера образуется не карбоновая кислота, а ее соль.

?

154. Найдите соответствие:

Формула соединения	*Класс соединений*
1) $H-COO-CH_3$;	а) карбоновая кислота;
2) $CH_3-COO-H$;	б) эстер.

155. Найдите соответствие:

Формула эстера	*Название эстера*
1) $C_2H_5COOCH_3$;	а) бутилэтаноат;
2) $CH_3COOCH_2CH_2CH_2CH_3$;	б) метилпропаноат.

156. Из приведенных формул выберите те, которые принадлежат эстерам, и дайте этим веществам систематические названия:

а) $CH_3-CH_2-C\overset{\displaystyle /\!\!/ O}{\underset{\displaystyle \backslash O-C_2H_5}{}}$; в) $CH_3-CH_2-C\overset{\displaystyle /\!\!/ O}{\underset{\displaystyle \backslash ONa}{}}$;

б) $H-C\overset{\displaystyle /\!\!/ O}{\underset{\displaystyle \backslash O-C_2H_5}{}}$; г) CH_3-O-CH_3.

157. Составьте структурные формулы молекул таких эстеров:
а) бутилметаноата;
б) этилформиата;
в) пропилового эстера муравьиной кислоты.

158. Напишите уравнения реакций:
а) эстерификации с участием пропан-1-ола и этановой кислоты;
б) гидролиза метилпропаноата;
в) горения метилметаноата.

159. Составьте уравнения реакций, с помощью которых можно осуществить такие превращения:

$$CH_3OH \rightarrow HCHO \rightarrow HCOOH \rightarrow HCOOCH_3.$$

160. Какая масса метанола была взята для получения метилбутаноата, если образовалось 20,4 г эстера, а прореагировало 80 % спирта?

ДЛЯ ЛЮБОЗНАТЕЛЬНЫХ

Нитроглицерин

Эстеры могут быть образованы не только карбоновыми кислотами, но и неорганическими оксигенсодержащими кислотами. Среди них — эстер глицерола и нитратной кислоты, тривиальное название которого — нитроглицерин. Это соединение используют для изготовления динамита; оно является одним из сильнейших взрывчатых веществ. Промышленное производство нитроглицерина связано с именем шведского изобретателя и предпринимателя А. Нобеля (он основал премию, которую позднее назвали Нобелевской).

Водный раствор нитроглицерина с его массовой долей 1 %, а также таблетки, содержащие это соединение, применяют в медицине как сосудорасширяющее средство.

Нитроглицерин — маслянистая жидкость без запаха. Вещество получают, осуществляя реакцию глицерола со смесью концентрированных нитратной и сульфатной кислот:

$$C_3H_5(OH)_3 + 3HONO_2 \xrightarrow{H_2SO_4} C_3H_5(ONO_2)_3 + 3H_2O.$$

При нагревании или слабом ударе нитроглицерин взрывается:

$$4C_3H_5(ONO_2)_3 \rightarrow 12CO_2\uparrow + 6N_2\uparrow + O_2\uparrow + 10H_2O\uparrow.$$

22 Жиры

Материал параграфа поможет вам:

- вспомнить состав и свойства жиров;
- получить новую информацию о жирах и их роли в организме.

Вы ознакомились с жирами в 9 классе. Они распространены в природе и вместе с белками и углеводами составляют основу нашего питания (рис. 54).

Жиры — эстеры глицерола и высших карбоновых кислот.



Рис. 54. Жиры

Эти соединения еще называют *триглицеридами*, поскольку молекула жира содержит три кислотных остатка (рис. 55).

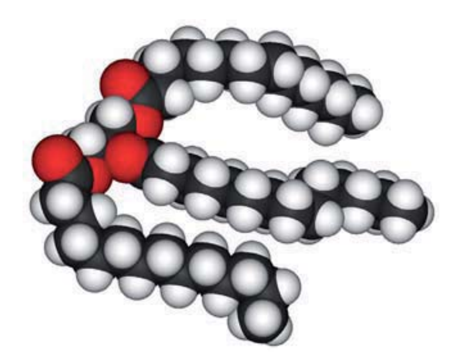


Рис. 55. Модель молекулы триглицерида

Общая формула жиров —

$$\begin{array}{l} CH_2-O-\underset{\displaystyle \overset{\|}{O}}{C}-R \\ | \\ CH-O-\underset{\displaystyle \overset{\|}{O}}{C}-R' \\ | \\ CH_2-O-\underset{\displaystyle \overset{\|}{O}}{C}-R'', \end{array}$$

где R, R', R'' — углеводородные остатки молекул разных кислот.

Природные жиры являются производными высших (жирных) карбоновых кислот, молекулы которых, как правило, имеют неразветвленное строение и четное количество атомов Карбона.

Среди этих кислот —

- *пальмитиновая* $C_{15}H_{31}COOH$, или $CH_3-(CH_2)_{14}-COOH$;
- *стеариновая* $C_{17}H_{35}COOH$, или $CH_3-(CH_2)_{16}-COOH$;
- *олеиновая* $C_{17}H_{33}COOH$, или $CH_3-(CH_2)_7-CH=CH-(CH_2)_7-COOH$;
- *линолевая* $C_{17}H_{31}COOH$, или $CH_3-(CH_2)_4-CH=CH-CH_2-CH=CH-$ $-(CH_2)_7-COOH$;
- *линоленовая* $C_{17}H_{29}COOH$, или $CH_3-(CH_2-CH=CH)_3-(CH_2)_7-COOH$.

В жирах всегда содержатся примеси — жирные кислоты, витамины A, D, E, F, другие органические вещества, вода.

УПРАЖНЕНИЕ. ***Составить структурную формулу молекулы жира, в которой имеются остатки молекул пальмитиновой, стеариновой и олеиновой кислот.***

Решение

Записываем структурную формулу молекулы глицерола, а напротив каждой OH-группы — структурную формулу молекулы соответствующей карбоновой кислоты. Затем удаляем атомы Гидрогена из гидроксильных групп молекулы глицерола, OH-группы из молекул кислот (эти атомы и группы атомов выделены красным цветом) и соединяем полученные остатки черточками, имитирующими простые ковалентные связи:

CH_2-OH | $CH-OH$ | CH_2-OH
глицерол

$HO-C(=O)-C_{15}H_{31}$
пальмитиновая кислота

$HO-C(=O)-C_{17}H_{35}$
стеариновая кислота

$HO-C(=O)-C_{17}H_{33}$
олеиновая кислота

$\Rightarrow$

$CH_2-O-C(=O)-C_{15}H_{31}$
|
$CH-O-C(=O)-C_{17}H_{35}$
|
$CH_2-O-C(=O)-C_{17}H_{33}$
триглицерид

Если в молекуле жира все углеводородные остатки происходят от стеариновой кислоты, его называют тристеарином, а если это остатки олеиновой кислоты, — триолеином.

Классификация. Различают животные и растительные жиры.

Из *животных жиров* мы чаще всего употребляем в пищу сливочное масло, свиное сало и говяжий жир. В их состав входят преимущественно триглицериды насыщенных кислот — стеариновой и пальмитиновой. Жиры морских млекопитающих и рыб являются производными ненасыщенных жирных кислот, в молекулах которых имеется как минимум четыре двойные связи.



Рис. 56. Популярные растительные масла — оливковое и подсолнечное

Важнейшие *растительные жиры* — подсолнечное, оливковое (рис. 56), кукурузное масла. Они содержат преимущественно триглицериды ненасыщенных кислот — олеиновой и линолевой. Однако в кокосовом и пальмовом жирах преобладают эстеры насыщенных кислот.

Физические свойства. Большинство животных жиров — твердые вещества, а в организмах морских млекопитающих и рыб содержатся жидкие жиры. Растительные жиры, за исключением кокосового и пальмового, — жидкости.

Жир не имеет постоянной температуры плавления, поскольку является смесью различных триглицеридов; он плавится в определенном температурном интервале.

Жиры легче воды, нерастворимы в ней, но хорошо растворяются в бензине, бензене, дихлороэтане и многих других органических растворителях. Некоторые растворители используют при чистке тканей от жировых пятен.

Жидкие жиры образуют с водой эмульсии. Такую эмульсию можно получить, если интенсивно встряхивать растительное масло с водой. Она быстро расслаивается. Достаточно устойчивой эмульсией является молоко.

Химические свойства. Из повседневной жизни вам известно, что жиры со временем приобретают горький вкус (это — результат

их окисления), а при сильном нагревании разлагаются.

Жиры, как и эстеры одноáтомных спиртов, в определенных условиях подвергаются гидролизу, а те, в молекулах которых имеются остатки молекул ненасыщенных кислот, соединяются с водородом, галогенами (рис. 57).

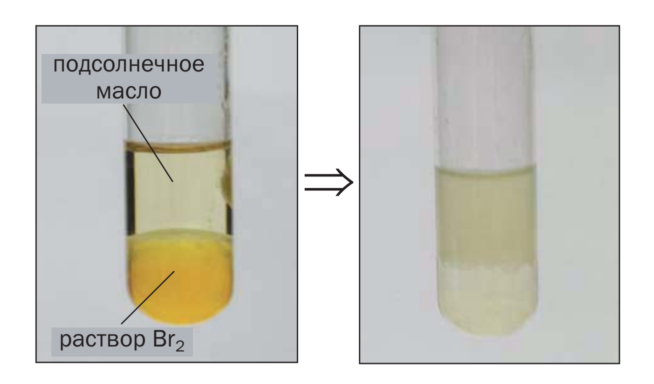
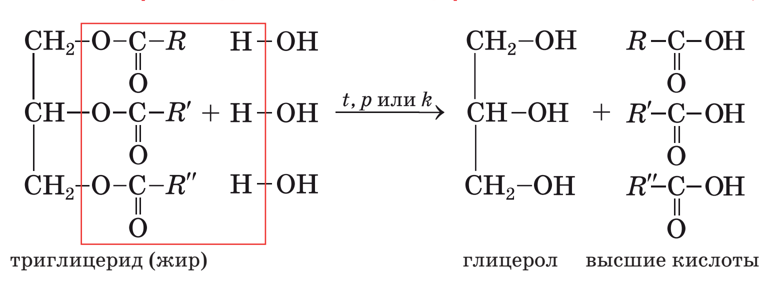


Рис. 57. Взаимодействие подсолнечного масла с бромной водой

Гидролиз жиров — один из важных промышленных процессов. Жиры взаимодействуют с водяным паром при температуре 200—250 °C и давлении 20—25 атм или при наличии катализаторов:

жир + вода $\xrightarrow{t,\,p\text{ или }k}$ глицерол + высшие кислоты,



Если эти реакции осуществлять при нагревании и наличии щелочи, то вместо высших кислот образуются их соли (мылá). Соответствующий процесс называют *омылением жиров*.

▶ Составьте уравнение реакции тристеарина с натрий гидроксидом.

Гидролиз жиров происходит и в живых организмах. В нем принимают участие особые катализаторы — ферменты (с. 226).

Гидрирование. Жиры, являющиеся производными ненасыщенных кислот, вступают в реакции, характерные для алкенов. Они, в частности, соединяются с водородом. При пропускании этого газа в нагретое до 160—240 °C растительное масло при наличии катализатора постепенно образуется твердый жир, похожий на животный:

жидкий жир + водород $\xrightarrow{t,\ k}$ твердый жир,

$$\begin{array}{l} CH_2-O-\underset{\underset{O}{\|}}{C}-(CH_2)_7-CH=CH-(CH_2)_7-CH_3 \\ | \\ CH-O-\underset{\underset{O}{\|}}{C}-(CH_2)_7-CH=CH-(CH_2)_7-CH_3 + 3H_2 \xrightarrow{t,\ Ni} \\ | \\ CH_2-O-\underset{\underset{O}{\|}}{C}-(CH_2)_7-CH=CH-(CH_2)_7-CH_3 \end{array}$$

триолеин

$$\rightarrow \begin{array}{l} CH_2-O-\underset{\underset{O}{\|}}{C}-(CH_2)_7-CH_2-CH_2-(CH_2)_7-CH_3 \\ | \\ CH-O-\underset{\underset{O}{\|}}{C}-(CH_2)_7-CH_2-CH_2-(CH_2)_7-CH_3. \\ | \\ CH_2-O-\underset{\underset{O}{\|}}{C}-(CH_2)_7-CH_2-CH_2-(CH_2)_7-CH_3 \end{array}$$

тристеарин

Смешивая полученный твердый жир с молоком, сливочным маслом, небольшими количествами витаминов A и D, получают маргарин. Твердый жир также используют в технических целях, в качестве сырья для производства мыла.

Это интересно
Чтобы избежать появления горечи в пищевых жирах, к ним добавляют антиоксиданты.

Окисление. Контактируя с влажным воздухом, жиры подвергаются гидролизу и окисляются. Продукты этих превращений — альдегиды, другие вещества с меньшим количеством атомов Карбона в молекулах. Большинство их имеет неприятный запах и горький вкус.

Ненасыщенные жиры окисляются калий перманганатом, другими окислителями. Этот

процесс медленно протекает и с участием кислорода воздуха; в результате растительные масла затвердевают (словно высыхают).

При поджигании жиры горят на воздухе.

Применение. Основная сфера использования жиров — пищевая промышленность. Эти вещества применяют в производстве косметических средств, медицине, технике. Из жиров получают глицерол, высшие карбоновые кислоты, мыло, другие вещества.

Биологическая роль. При полном окислении жира в организме выделяется вдвое больше энергии, чем из такой же массы белка или углевода. Жиры содержатся в клеточных мембранах, являются теплоизоляторами, растворяют некоторые витамины.

Растительные масла служат источниками ненасыщенных кислот, которые в организме не образуются, но имеют высокую биологическую активность.

ВЫВОДЫ

Жиры — эстеры глицерола и высших карбоновых кислот. Различают животные и растительные жиры. Животные жиры являются производными насыщенных кислот, а растительные — ненасыщенных кислот.

Жиры подвергаются гидролизу, окисляются, разлагаются при нагревании, а ненасыщенные, кроме того, реагируют с водородом, галогенами.

Жиры являются неотъемлемой составной частью нашего питания, выполняют важные биологические функции. Их используют в пищевой и легкой промышленности, медицине, технике, в качестве химического сырья.

?

161. Охарактеризуйте состав молекул жиров.
162. Чем различаются по происхождению и составу молекул твердые и жидкие жиры?

163. Составьте сокращенную структурную формулу молекулы триглицерида, содержащей остатки молекул олеиновой, линолевой и линоленовой кислот.
164. Напишите уравнение реакции гидролиза трипальмитина.
165. Какая масса раствора натрий гидроксида с массовой долей щелочи 25 % расходуется на получение мыла из 5 т триглицерида, молекула которого содержит остатки молекул стеариновой, пальмитиновой и олеиновой кислот?
166. Вычислите массу глицерола, образовавшегося при взаимодействии достаточного количества калий гидроксида с 10 кг триолеина, в котором массовая доля примесей составляла 2 %.
167. По материалам из интернета выясните, какие жиры и другие органические вещества содержатся в сливочном масле.

23 Углеводы. Глюкоза

Материал параграфа поможет вам:

- вспомнить общие сведения об углеводах;
- узнать о классификации углеводов;
- расширить свои знания о строении молекул и свойствах глюкозы.

Углеводы
$C_n(H_2O)_m$

Углеводы. Самые распространенные в природе органические соединения имеют состав, отвечающий общей формуле $\mathbf{C_nH_{2m}O_m}$, или $\mathbf{C_n(H_2O)_m}$ (значения n и m — 5 и более)[1]. Среди них — целлюлоза (основная органическая составляющая древесины), крахмал, сахар, глюкоза. Общее название этих соединений — *углеводы* — существует с XIX в. Вам известно, что оно происходит от слов «углерод» и «вода» (эти вещества образуются при полном термическом разложении углеводов без доступа воздуха).

[1] Известны углеводы (как природные, так и синтетические), состав которых не соответствует приведенной формуле.

Углеводы содержатся во всех живых организмах. Вы знаете, что они образуются в зеленых растениях и некоторых бактериях при фотосинтезе. Схема этого процесса в растениях:

углекислый газ + вода $\xrightarrow{h\nu\text{, хлорофилл}}$ углеводы + кислород,

а обобщенное химическое уравнение —

$$nCO_2 + mH_2O \xrightarrow{h\nu\text{, хлорофилл}} C_n(H_2O)_m + nO_2.$$

Среди углеводов различают *моносахариды* (к ним относятся глюкоза, фруктоза, другие соединения), *дисахариды* (например, сахароза, или обычный сахар) и *полисахариды* (крахмал, целлюлоза). Ди- и полисахариды могут подвергаться гидролизу с образованием моносахаридов.

Для углеводов используют, как правило, тривиальные названия, большинство которых заканчивается на *-оза*.

Глюкоза. Это — один из важнейших моносахаридов. Некоторые сведения о веществе и его свойствах вы получили в 9 классе.

Глюкоза, или виноградный сахар, содержится в фруктах и ягодах, меде, а в незначительном количестве — в крови человека и животных.

Глюкоза $C_6H_{12}O_6$

Строение молекулы. Химическая формула глюкозы — $C_6H_{12}O_6$. В молекуле вещества имеются разные характеристические группы — альдегидная и гидроксильные (рис. 58):

```
H\1//O
    C
   2|
 H–C–OH
   3|
HO–C–H
   4|
 H–C–OH
   5|
 H–C–OH
   6|
    CH2OH
```

Поэтому глюкоза одновременно является и *альдегидом*, и *многоа́томным спиртом*; такие соединения называют альдегидоспиртами.

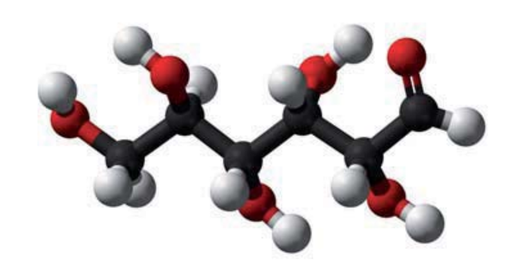


Рис. 58. Модель открытой формы молекулы глюкозы

Приведенную выше форму молекулы глюкозы называют открытой. В этой форме молекулы вещества находятся только в водном растворе, причем в незначительном количестве. Характерной формой для молекулы глюкозы (в твердом состоянии и в растворе) является циклическая; цикл состоит из пяти атомов Карбона и одного атома Оксигена. В растворе открытая форма молекулы постоянно переходит в циклическую и наоборот.

Структурным изомером глюкозы является другой моносахарид — фруктоза. В молекуле этого вещества карбонильная группа $>C=O$ соединена с двумя разными заместителями:

$$
\begin{array}{c}
{}^{1}CH_2OH \\
| \\
{}^{2}C=O \\
| \\
HO-{}^{3}C-H \\
| \\
H-{}^{4}C-OH \\
| \\
H-{}^{5}C-OH \\
| \\
{}^{6}CH_2OH
\end{array}
$$

Фруктоза (другое название углевода — фруктовый сахар) содержится во многих фруктах, ягодах, меде. Это бесцветное кристаллическое вещество, хорошо растворимое в воде, более сладкое, чем обычный сахар (сахароза).

В организме человека фруктоза превращается в изомер — глюкозу.

Физические свойства. Глюкоза — белый порошок или бесцветное кристаллическое вещество со сладким вкусом. Вещество

хорошо растворяется в воде, плавится при температуре 146 °C.

Химические свойства. Глюкоза вступает в реакции, характерные для многоа́томных спиртов и альдегидов.

Реакция с участием гидроксильных групп. Глюкоза, как и глицерол, взаимодействует с купрум(II) гидроксидом в щелочной среде. Продукт реакции — растворимое соединение Купрума(II) синего цвета.

Реакции с участием альдегидной группы. Глюкоза легко окисляется. При нагревании ее раствора с аммиачным раствором аргентум(I) оксида образуется аммонийная соль глюконовой кислоты, а на стенках сосуда появляется тонкий блестящий слой серебра (рис. 45). Это — реакция «серебряного зеркала». Приводим соответствующее химическое уравнение, используя сокращенную структурную формулу молекулы глюкозы:

Это интересно
Кальций глюконат используют в медицине для пополнения организма Кальцием.

$$\underset{\text{глюкоза}}{CH_2OH{-}(CHOH)_4{-}C{\overset{O}{\underset{H}{\lessgtr}}}} + Ag_2O + NH_3 \xrightarrow{t,\,H_2O}$$

$$\rightarrow \underset{\text{аммоний глюконат}}{CH_2OH{-}(CHOH)_4{-}C{\overset{O}{\underset{ONH_4}{\lessgtr}}}} + 2Ag\downarrow.$$

Аналогично действует на глюкозу купрум(II) гидроксид (при нагревании), превращаясь в купрум(I) гидроксид желтого цвета, который быстро разлагается на красный купрум(I) оксид и воду:

$$\underset{\text{глюкоза}}{CH_2OH{-}(CHOH)_4{-}C{\overset{O}{\underset{H}{\lessgtr}}}} + 2Cu(OH)_2 \xrightarrow{t}$$

$$\rightarrow \underset{\text{глюконовая кислота}^1}{CH_2OH{-}(CHOH)_4{-}C{\overset{O}{\underset{OH}{\lessgtr}}}} + 2CuOH + H_2O;$$

$$2CuOH \xrightarrow{t} Cu_2O + H_2O.$$

[1] В избытке щелочи образуется соль этой кислоты.

ЛАБОРАТОРНЫЙ ОПЫТ № 2

Окисление глюкозы купрум(II) гидроксидом

В пробирку налейте 2—3 мл раствора натрий гидроксида и добавьте 3—4 капли раствора купрум(II) сульфата. К осадку образовавшегося купрум(II) гидроксида долейте 2—3 мл раствора глюкозы и хорошо перемешайте смесь. Что наблюдаете?

Содержимое пробирки осторожно нагрейте. О чем свидетельствует появление осадка и изменение его цвета?

Сделайте соответствующие выводы.

Глюкоза, как и альдегиды, может восстанавливаться. В результате ее взаимодействия с водородом при наличии катализатора образуется шестиáтомный спирт:

$$\underset{\text{глюкоза}}{CH_2OH{-}(CHOH)_4{-}C\overset{\displaystyle O}{\underset{\displaystyle H}{\lessgtr}}} + H_2 \xrightarrow{Ni} \underset{\text{сорбит}}{CH_2OH{-}(CHOH)_4{-}CH_2OH}.$$

Сорбит содержится в водорослях, многих ягодах и фруктах, имеет сладкий вкус. Вещество не усваивается организмом и поэтому служит заменителем сахара для больных сахарным диабетом.

Реакции брожения. Так называют превращения органических веществ (углеводов) с участием микроорганизмов или выделенных из них ферментов.

Под действием ферментов дрожжей глюкоза в водном растворе медленно превращается в этиловый спирт. Название этого процесса — *спиртовое брожение* (с. 91). Его можно упрощенно описать таким химическим уравнением:

$$\underset{\text{глюкоза}}{C_6H_{12}O_6} \rightarrow \underset{\text{этанол}}{2C_2H_5OH} + 2CO_2\uparrow.$$

Молочнокислое брожение глюкозы вызывают молочнокислые бактерии:

$$\underset{\text{глюкоза}}{C_6H_{12}O_6} \rightarrow \underset{\text{молочная кислота}}{2CH_3{-}\underset{OH}{\underset{|}{CH}}{-}COOH.}$$

Спиртовое брожение издавна используется в виноделии и пивоварении. Молочнокислое брожение происходит, например, при квашении овощей.

Получение и использование. Глюкозу получают, осуществляя гидролиз природных веществ — крахмала, сахара, целлюлозы (§ 24, 25).

При окислении глюкозы в организме выделяется необходимая для него энергия. Этот углевод используют в медицине (рис. 59) как легко усваиваемое и калорийное вещество. Глюкоза входит в состав жидкостей-кровезаменителей. Ее применяют и в пищевой промышленности. Из этого углевода получают аскорбиновую кислоту (витамин С), кальций глюконат.



Рис. 59. Ампулы с раствором глюкозы

ВЫВОДЫ

Углеводы — наиболее распространенные в природе органические соединения, образующиеся при фотосинтезе. Их общая формула — $C_n(H_2O)_m$.

Углеводы делят на моносахариды, дисахариды и полисахариды. Важнейшим моносахаридом является глюкоза $C_6H_{12}O_6$. Это кристаллическое

вещество, хорошо растворимое в воде, сладкое на вкус.

Глюкоза вступает в реакции окисления, восстановления, брожения. Ее получают гидролизом природных веществ. Глюкозу применяют в пищевой промышленности, медицине, органическом синтезе.



168. Почему глюкозу, сахарозу, крахмал, целлюлозу называют углеводами?
169. С помощью каких химических реакций можно обнаружить в молекуле глюкозы:
   а) гидроксильные группы;
   б) альдегидную группу?
170. По материалам из интернета или другим источникам информации подготовьте сообщение о роли глюкозы в организме человека.
171. В какой массе воды следует растворить 40 г глюкозы, чтобы приготовить раствор с массовой долей углевода 8 %?
172. Определите массы растворов глюкозы с ее массовыми долями 5 и 25 %, необходимые для приготовления 200 г раствора с массовой долей соединения 10 %.
173. Какая масса серебра образуется при окислении 0,4 моль глюкозы избытком аммиачного раствора аргентум(I) оксида?
174. Какой объем углекислого газа (н. у.) выделится при полном превращении 90 г глюкозы в спирт в процессе брожения?
175. В результате молочнокислого брожения глюкозы образовалось 3,6 г молочной кислоты и осталось 8,4 г глюкозы. Вычислите массу углевода до начала реакции.

24 Дисахариды. Сахароза

Материал параграфа поможет вам:

- узнать, какие углеводы относятся к дисахаридам;
- расширить свои знания о сахарозе.

Дисахариды. В растительном и животном мире распространены углеводы, общее название которых — *дисахариды*. При гидролизе таких углеводов из каждой молекулы образуются две молекулы моносахарида.

Дисахаридами называют углеводы, молекулы которых состоят из двух остатков молекул одного или двух моносахаридов.

Дисахариды $C_{12}H_{22}O_{11}$

К важнейшим дисахаридам относятся сахароза (с ней вы подробно ознакомились в 9 классе), лактоза и мальтоза. Они имеют одинаковую химическую формулу $C_{12}H_{22}O_{11}$ и являются изомерами.

Лактоза (другое название — молочный сахар) содержится в молоке (в коровьем — 4—5 % по массе, женском — 5—8 %), молочной сыворотке. Этот дисахарид почти в три раза менее сладкий, чем сахароза.

Мальтоза (солодовый сахар) находится в проросших зернах ячменя (солоде), организмах животных. По сладкому вкусу вещество немного уступает сахарозе.

Открытые формы молекул лактозы и мальтозы имеют альдегидную группу.

Сахароза. Это — обычный сахар, пищевой продукт, легко усваиваемый организмом. Вещество содержится в листьях и соках деревьев, фруктах, овощах, а в наибольшем количестве — в сахарной свекле и сахарном тростнике (до 27 % по массе).

Сахароза является кристаллическим веществом, сладким на вкус, хорошо растворяется в воде. Растворимость сахара с повышением температуры существенно возрастает (рис. 60). Если очень концентрированный горячий раствор (сахарный сироп) охладить, то он становится пересыщенным (концентрация вещества в нем будет превышать тако-

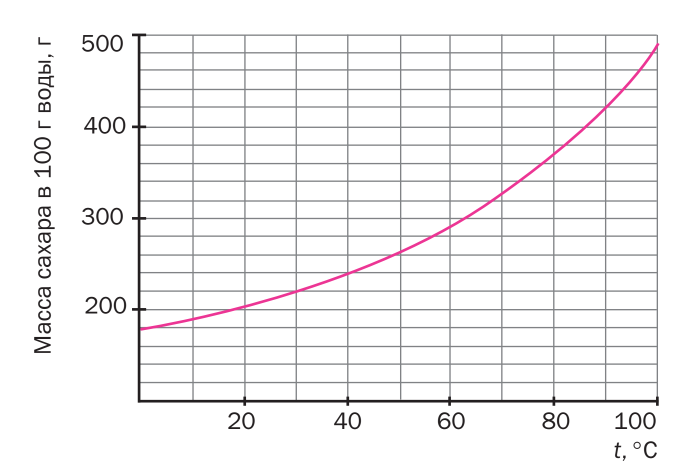


Рис. 60. Зависимость растворимости сахарозы в воде от температуры

вую для насыщенного раствора). Кристаллики сахара появятся в нем не сразу, а спустя некоторое время.

При нагревании сахар плавится и начинает разлагаться.

Строение молекулы. Молекула сахарозы $C_{12}H_{22}O_{11}$ состоит из остатков молекул глюкозы и фруктозы. В молекуле сахарозы имеется несколько гидроксильных групп, а альдегидной группы нет (вещество не восстанавливает купрум(II) гидроксид и не вступает в реакцию «серебряного зеркала»).

Химические свойства. Участие сахарозы в химических реакциях обусловлено особенностями строения ее молекулы и наличием в ней гидроксильных групп.

Гидролиз. Сахароза под действием ферментов или при нагревании с сильными неорганическими кислотами подвергается гидролизу (отличие от моносахаридов). При этом из каждой молекулы дисахарида образуются молекула глюкозы и молекула фруктозы:

сахароза + вода $\xrightarrow{k \text{ или } t,\ H_2SO_4}$ глюкоза + фруктоза;

$$\underset{\text{сахароза}}{C_{12}H_{22}O_{11}} + H_2O \xrightarrow{k \text{ или } t,\ H_2SO_4} \underset{\text{глюкоза}}{C_6H_{12}O_6} + \underset{\text{фруктоза}}{C_6H_{12}O_6}.$$

Реакции с участием гидроксильных групп. Поскольку молекула сахарозы содержит несколько гидроксильных групп, вещество вступает в реакции, характерные для многоáтомных спиртов. Например, сахароза взаимодействует с гидроксидами Кальция, Купрума(II) с образованием растворимых соединений, общее название которых — сахараты.

Получение. Сахарозу производят из сахарной свеклы и сахарного тростника. Сырье промывают, измельчают и обрабатывают горячей водой, которая растворяет сахар, некоторые другие вещества. Смесь фильтруют и в полученный раствор добавляют кальций гидроксид. Он взаимодействует с сахарозой с образованием растворимого продукта реакции, а другие органические вещества осаждаются. После отделения жидкости от осадка фильтрованием в нее пропускают углекислый газ. При этом образуется нерастворимый кальций карбонат, а в растворе — сахароза. Воду выпаривают из раствора и получают кристаллический сахар.

В нашей стране работает несколько десятков сахарных заводов (рис. 61); объем их ежегодной продукции составляет до 2 млн т. Украина является одним из наибольших производителей сахара в мире; рекорд его годового экспорта превышает 700 тыс. т.

Применение. Сахароза — важный пищевой продукт. Концентрированный водный



Рис. 61. На сахарном заводе

раствор этого углевода является консервантом. Сахарозу также используют для производства некоторых поверхностно-активных веществ.

ВЫВОДЫ

Дисахариды — углеводы, молекулы которых состоят из двух остатков молекул моносахаридов. Общая формула этих соединений — $C_{12}H_{22}O_{11}$.

Важнейшим дисахаридом является сахароза. Это — белое кристаллическое вещество со сладким вкусом, растворимое в воде. Молекула вещества состоит из остатков молекул глюкозы и фруктозы.

Сахароза подвергается гидролизу, взаимодействует с гидроксидами некоторых металлических элементов, при нагревании разлагается.

Сахароза является пищевым продуктом. Это вещество также используют в химической технологии.



176. Какие углеводы называют дисахаридами?
177. Сравните сахарозу и глюкозу по физическим и химическим свойствам.
178. Напишите химические уравнения для приведенных ниже превращений и укажите условия протекания реакций:

$$\text{сахароза} \to \text{глюкоза} \to \text{этанол} \to$$
$$\to \text{этиловый эстер уксусной кислоты.}$$

179. Вычислите массовую долю Карбона во влажном сахаре, если массовая доля воды в нем равна 5 %.
180. Используя график, приведенный на рисунке 60, определите, насыщенным или ненасыщенным является:
    а) 70 %-й водный раствор сахарозы при температуре 60 °С;
    б) 83 %-й раствор сахарозы при температуре 100 °С.

181. Какие массы сахара и его водного раствора с массовой долей 10 % следует смешать, чтобы приготовить 200 г раствора с массовой долей углевода 20 %?

182. При гидролизе некоторой массы сахарозы образовалась вдвое меньшая масса глюкозы. Какая доля дисахарида превратилась в моносахариды?

25 Полисахариды. Крахмал, целлюлоза

Материал параграфа поможет вам:

- узнать, какие углеводы относятся к полисахаридам;
- вспомнить свойства крахмала и целлюлозы;
- получить новую информацию о крахмале и целлюлозе.

Полисахариды. Среди всех органических веществ, распространенных в природе, больше всего (по массе) *полисахаридов.*

Полисахаридами называют углеводы, молекулы которых состоят из многих остатков молекул моносахаридов[1].

Полисахариды $(C_6H_{10}O_5)_n$

Важнейшими полисахаридами являются *крахмал* и *целлюлоза*. Эти природные высокомолекулярные соединения имеют одинаковую общую формулу $(C_6H_{10}O_5)_n$, но значения n для каждого соединения находятся в определенном числовом интервале.

Крахмал. С крахмалом вы ознакомились в 9 классе. Он образуется в растениях по такой схеме:

$$6CO_2 + 6H_2O \xrightarrow{h\nu,\ хлорофилл} \underset{глюкоза}{C_6H_{12}O_6} + 6O_2;$$

[1] Количество таких остатков может достигать нескольких тысяч.

$$\underset{\text{глюкоза}}{nC_6H_{12}O_6} \rightarrow \underset{\text{крахмал}}{(C_6H_{10}O_5)_n} + nH_2O.$$

Этот углевод накапливается в зернах, семенах, клубнях, корнях растений. Его массовая доля в картофеле достигает 25 %, в пшеничной муке — 75 %, а в рисе — 80 %.

Крахмал «поставляет» энергию растительным клеткам и служит для них «строительным» материалом. При замачивании зерна происходит гидролиз крахмала с образованием водорастворимых углеводов, необходимых для прорастания зерна и развития растения.

Крахмал состоит из очень мелких округлых частиц белого цвета (рис. 62). При растирании вещества пальцами ощущается легкое поскрипывание вследствие взаимного трения частиц (зерен). Крахмал не имеет запаха, вкуса, не растворяется в холодной воде, а в теплой образует коллоидный раствор (крахмальный клейстер).

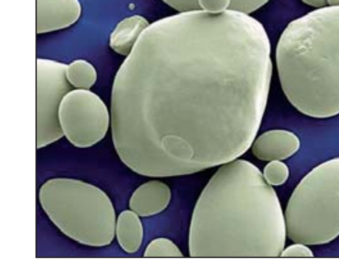


Рис. 62. Частицы картофельного крахмала (сильно увеличено)

Состав и строение молекул. *Крахмал является смесью двух полисахаридов — амилозы и амилопектина. Амилоза содержится внутри зерен крахмала, амилопектин — в их оболочках. Амилопектина в крахмале в несколько раз больше, чем амилозы. Молекулы этих веществ состоят из остатков молекул глюкозы (в циклической форме), длинные цепи которых свернуты в спирали (рис. 63). Молекулы амилопектина намного длиннее и имеют разветвления.*

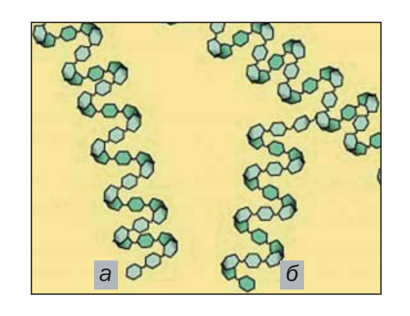


Рис. 63. Строение молекул амилозы (*а*) и амилопектина (*б*)

Химические свойства. При нагревании крахмал, в отличие от сахарозы, не плавится, а разлагается. Этот сложный процесс завершается обугливанием вещества.

▶ Назовите конечные продукты термического разложения крахмала.

Под действием ферментов или при нагревании с разбавленными неорганическими кислотами происходит *гидролиз* крахмала:

$$\text{крахмал + вода} \xrightarrow{k \text{ или } t,\ H_2SO_4} \text{глюкоза.}$$

▶ Запишите схему гидролиза крахмала с химическими формулами веществ.

Крахмал попадает в организмы человека и животных с пищей. Его гидролиз начинается в ротовой полости (с участием фермента амилазы) и завершается в кислой среде желудка.

Реакция с иодом. Вы знаете, что при добавлении бурого раствора иода в коллоидный раствор крахмала появляется темно-синяя окраска (это — качественная реакция на крахмал). При нагревании до 100 °C она исчезает, а при охлаждении появляется снова. Заметим, что дисахариды и моносахариды на иод не действуют.

Как и сахароза, крахмал не восстанавливает купрум(II) гидроксид, что свидетельствует об отсутствии альдегидных групп в молекуле углевода.



Рис. 64.
Крахмал

Получение и применение. Крахмал (рис. 64) получают в промышленности в основном из картофеля и кукурузы. Измельченное сырье обрабатывают холодной водой, а частицы крахмала отделяют от жидкости отстаиванием или центрифугированием.

Крахмал — важный пищевой продукт. Его используют в производстве глюкозы, этилового спирта, других органических веществ. Крахмал применяют при изготовлении бумаги, текстиля, некоторых пластмасс, в полиграфии, домашнем хозяйстве.

Целлюлоза, или клетчатка, — «строительный» материал растений. Из этого вещества образованы оболочки клеток. Больше всего целлюлозы в семенах хлопчатника (95—98 %), волокнах льна, стеблях камыша, подсолнечника, злаковых и некоторых других растений. Древесина в среднем на 50 % состоит из целлюлозы. Этот углевод содержится и в пищевых продуктах — муке и изделиях из нее, крупах, а также овощах. Целлюлоза, как и крахмал, образуется в растениях при фотосинтезе.

Состав и строение молекул. *Молекулы целлюлозы состоят из остатков молекул глюкозы (в циклической форме) и являются неразветвленными (отличие от молекул амилопектина). В каждом остатке молекулы глюкозы содержится три OH-группы. Поэтому формулу целлюлозы в химических уравнениях иногда записывают так:* $[C_6H_7O_2(OH)_3]_n$.

Между гидроксильными группами разных молекул целлюлозы возникают водородные связи, благодаря которым нитевидные молекулы объединяются в волокна. Целлюлоза имеет волокнистое строение во многих растениях.

Свойства. Чистая целлюлоза нерастворима в воде и органических растворителях, но растворяется в аммиачном растворе купрум(II) гидроксида. Из этого раствора она осаждается при добавлении кислоты.

Целлюлоза не изменяет окраски иода в его растворе, разлагается концентрированной сульфатной кислотой (рис. 65).

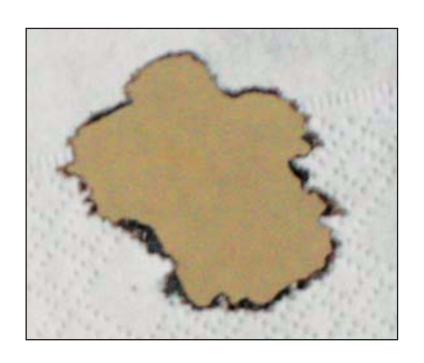


Рис. 65. Результат попадания концентрированной сульфатной кислоты на бумажную салфетку

Гидролиз. Взаимодействие целлюлозы с водой происходит лишь при нагревании и наличии сильной кислоты. Процесс является ступенчатым и завершается образованием глюкозы:

$$(C_6H_{10}O_5)_n + nH_2O \xrightarrow{t,\, H^+} nC_6H_{12}O_6.$$

Полученную таким способом глюкозу используют в качестве сырья для производства технического этилового спирта (его еще называют гидролизным).

Среди конечных продуктов превращения целлюлозы в природных условиях может быть метан. Этот процесс (*метановое брожение*) происходит с участием особых бактерий, которые перерабатывают остатки растений на

дне водоемов. В результате из болот выделяется «болотный» газ.

Окисление. Целлюлоза при поджигании загорается.

▶ Напишите уравнение реакции горения целлюлозы.

Полное окисление целлюлозы (до углекислого газа и воды) также происходит с участием некоторых микроорганизмов. Это очень медленный процесс. Благодаря ему природа «собственными силами» избавляется от огромных остатков древесины.

Термическое разложение. При нагревании без доступа воздуха целлюлоза разлагается. Среди продуктов ее разложения — углерод (так называемый древесный уголь), водяной пар, метанол, уксусная кислота. Соответствующий процесс осуществляют в промышленности; его название — сухая перегонка древесины. В основном используют отходы деревообрабатывающих предприятий.

Получение и применение. Целлюлозу (рис. 66) получают из измельченной древесины, соломы и т. п. Сырье обрабатывают горячими растворами натрий гидроксида, некоторых кислот и солей. Нерастворимый остаток — целлюлоза, содержащая небольшое количество примесей. При необходимости их удаляют различными методами.

Из целлюлозы производят бумагу, картон, волокна, лаки, эмали, целлофан, вату, другую



Рис. 66. На складе произведенной целлюлозы



Рис. 67. Изделия из чистой целлюлозы: вата, столовые салфетки, фильтровальная бумага

продукцию (рис. 67). Эстеры целлюлозы и уксусной кислоты являются исходными веществами в производстве ацетатного волокна.

ВЫВОДЫ

Полисахариды — углеводы, молекулы которых состоят из многих остатков молекул моносахаридов. Важнейшими полисахаридами являются крахмал и целлюлоза. Оба вещества имеют одинаковую формулу $(C_6H_{10}O_5)_n$.

Крахмал образует с водой коллоидный раствор. При его смешивании с раствором иода появляется синяя окраска. Целлюлоза в воде не растворяется и с иодом не реагирует.

Полисахариды подвергаются гидролизу, конечным продуктом которого является глюкоза.

?

183. Почему крахмал и целлюлозу относят к полисахаридам?
184. Найдите массу кислорода, выделенного растениями в атмосферу, если в них образовалось 100 т полисахаридов.
185. По материалам из интернета подготовьте сообщение о гликогене — полисахариде, который содержится в организмах животных и человека.
186. Какая масса этанола была произведена из 1 т картофеля с массовой долей крахмала 25 %, если общие потери на производстве составили 20 %? Примите во внимание, что крахмал в этом процессе подвергается гидролизу, а образовавшаяся глюкоза — спиртовому брожению.

ПРАКТИЧЕСКАЯ РАБОТА

Выполнение экспериментальных заданий

Задание 1. Распознавание твердых веществ — лимонной кислоты, глюкозы и крахмала.

Задание 2. Распознавание растворов уксусной кислоты и глицерола.

Задание 3. Получение натрий ацетата (в растворе).

В вашем распоряжении — лимонная кислота, глюкоза, крахмал, растворы уксусной кислоты, глицерола, натрий гидроксида, купрум(II) сульфата и натрий карбоната, спиртовой раствор иода (иодная настойка), полоски универсальной индикаторной бумаги, дистиллированная вода, необходимое оборудование.

Выполните каждое задание двумя способами. Продумайте последовательность проведения эксперимента и составьте его план. Ваши действия, наблюдения, выводы, химические уравнения запишите в таблицу:

Последовательность действий	Наблюдения	Выводы
Задание 1...		
...	...	...

Для распознавания оксигенсодержащих органических соединений вы можете воспользоваться сведениями, размещенными в Приложении 2 (с. 250).



187. С помощью каких химических реакций можно отличить раствор этанола от раствора:
   а) глицерола;
   б) фенола;
   в) этаналя;
   г) этановой кислоты;
   д) глюкозы;
   е) сахарозы?

188. Как экспериментально различить такие вещества:
   а) сахарозу и глюкозу;
   б) метановую и этановую кислоты;
   в) крахмал и глюкозу;
   г) этаналь и этановую кислоту?
189. Как экспериментально доказать наличие:
   а) характеристических групп в молекулах уксусной кислоты и глюкозы;
   б) ненасыщенных жиров в растительном масле;
   в) атомов Карбона в молекулах целлюлозы и крахмала?
190. Можно ли различить по характеру пламени, какое вещество горит — этанол или бензен? Если можно, то как именно?
191. Почему исчезает окраска раствора брома при его перемешивании с растительным маслом?
192. Что наблюдается при нагревании и дальнейшем охлаждении смеси растворов иода и крахмала?

4 раздел

Нитрогенсодержащие органические соединения

В этом разделе речь пойдет об органических соединениях, в молекулах которых имеются атомы Нитрогена (схема 5). Особое место среди них занимают белки — вещества, образующиеся в живых организмах из аминокислот и выполняющие важные биологические функции. Вы также ознакомитесь с аминами, которые называют органическими основаниями, и узнаете, что аминокислоты и белки являются амфотерными веществами.

Схема 5

Классы нитрогенсодержащих соединений



26 Амины

Материал параграфа поможет вам:

- отличать амины от других соединений;

[1] На схеме приведены формулы простейшего амина, аминоуксусной кислоты, фрагмента молекулы белка.

- узнать о составе, строении молекул и названиях аминов;
- расширить представление об образовании ковалентной связи;
- понять, почему амины называют органическими основаниями;
- получить сведения о применении аминов и их влиянии на организм.

Амины. Большинство органических веществ, образованных тремя элементами — Карбоном, Гидрогеном и Нитрогеном, относится к классу *аминов*.

Амины — производные аммиака NH_3, в молекулах которых вместо одного или нескольких атомов Гидрогена имеются углеводородные остатки.

Структурную формулу молекулы простейшего по составу амина $CH_3–NH_2$ можно получить, заменив атом Гидрогена в молекуле аммиака NH_3 (рис. 68) на группу атомов $–CH_3$:

$$H-\underset{\underset{H}{|}}{N}-H \Rightarrow H-\underset{\underset{H}{|}}{N}-CH_3$$

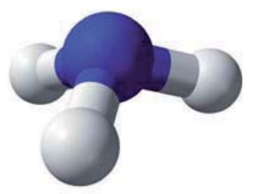


Рис. 68. Модель молекулы аммиака NH_3 (синий шарик — атом Нитрогена)

Группа атомов $–NH_2$ является характеристической; ее название — *аминогруппа*. Общая формула веществ, в молекулах которых углеводородный остаток соединен с аминогруппой[1], — $\boldsymbol{R}–NH_2$.

В зависимости от строения углеводородных остатков и особенностей химической связи в

[1] Такие соединения называют первичными аминами.

них различают *насыщенные* и *ароматические* амины:

$CH_3{-}NH_2$ — насыщенный амин; ароматический амин ($C_6H_5NH_2$, бензольное кольцо с группой NH_2)

Насыщенные амины. В молекуле насыщенного амина аминогруппа соединена с остатком молекулы алкана. Общая формула таких веществ — $\mathbf{C_nH_{2n+1}NH_2}$.

▶ Какую химическую формулу имеет насыщенный амин с молярной массой 45 г/моль?

Названия. Систематическое название насыщенного амина состоит из двух частей — названия соответствующего алкана и слова *амин*: CH_3NH_2 — метанамин, $C_2H_5NH_2$ — этанамин. В названиях других насыщенных аминов указывают номер атома Карбона, соединенного с аминогруппой. Для этого выбирают наиболее длинную карбоновую цепь (к ней должна быть присоединена группа $-NH_2$) и нумеруют атомы. Атому Карбона, связанному с аминогруппой, присваивают наименьший номер и записывают его перед словом *амин*:

$$\overset{3}{C}H_3{-}\overset{2}{C}H_2{-}\overset{1}{C}H_2{-}NH_2.$$

пропан-1-амин

Для аминов с простыми заместителями в молекулах часто используют другие названия, которые начинаются с названия углеводородного остатка, соединенного с аминогруппой:

$$CH_3{-}NH_2.$$

метиламин

Строение молекул. В молекулах аминов, в частности метиламина[1] (рис. 69), как и в молекуле аммиака NH_3, атом Нитрогена соединен

[1] В параграфе используем название этого вещества, употребляемое наиболее часто.

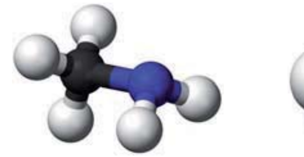




Рис. 69. Модели молекулы метиламина CH_3NH_2

с тремя другими атомами простой ковалентной связью. Эта связь реализуется с участием неспаренных электронов внешнего энергетического уровня атома Нитрогена:

$$\ldots \underset{2s}{\boxed{\uparrow\downarrow}}\ \overset{2p}{\boxed{\uparrow}\boxed{\uparrow}\boxed{\uparrow}}$$

В электронных формулах молекул аминов, кроме общих электронных пар, часто показывают и «неподеленную» пару $2s$-электронов атома Нитрогена:

$$\begin{array}{c} \mathrm{H} \\ \mathrm{H}:\underset{\cdot\cdot}{\overset{\cdot\cdot}{\mathrm{C}}}:\underset{\cdot\cdot}{\overset{\cdot\cdot}{\mathrm{N}}}:\mathrm{H} \\ \mathrm{H}\ \ \mathrm{H} \end{array}$$

метиламин

Общие электронные пары в молекуле амина смещаются к атому Нитрогена (рис. 70). На этом атоме сосредоточивается отрицательный заряд, а на другой части молекулы — положительный. Поэтому молекулы аминов полярные.

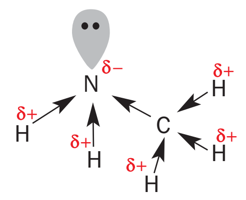


Рис. 70. Смещение электронных пар в молекуле метиламина

Физические свойства. В обычных условиях метиламин, этиламин и некоторые другие амины являются газами, а остальные — жидкости или твердые вещества. Газообразные и жидкие амины имеют резкий неприятный запах.

Амины с небольшими относительными молекулярными массами хорошо растворяют-

ся в воде. Температуры кипения аминов выше, чем соответствующих углеводородов. Это объясняется способностью молекул аминов образовывать водородные связи.

Химические свойства. Наличие в молекулах аминов электроотрицательных атомов Нитрогена с неподеленной парой электронов обуславливает характерные химические свойства этих веществ.

Реакции с кислотами. При взаимодействии аминов с кислотами образуются соли — ионные соединения:

$$\underset{\text{метиламин}}{CH_3NH_2} + HCl \rightarrow \underset{\text{метиламмоний хлорид}}{[CH_3NH_3]Cl}.$$

Ионно-молекулярное уравнение этой реакции (соль растворима в воде):

$$CH_3NH_2 + H^+ \rightarrow \underset{\text{катион метиламмония}}{[CH_3NH_3]^+}.$$

Таким образом, каждая молекула нитрогенсодержащего вещества присоединяет катион Гидрогена. При этом неподеленная пара 2*s*-электронов атома Нитрогена ($-\overset{|}{\underset{|}{N}}:$) переходит в свободную 1*s*-орбиталь иона H^+ и становится общей для обеих частиц:

$$\left[H_3C-\overset{\overset{\displaystyle H}{|}}{\underset{\underset{\displaystyle H}{|}}{N}}-H\right]^+$$

Возникает дополнительная ковалентная связь N–H.

Вам известно, что основания — вещества, диссоциирующие в водном растворе с образованием ионов OH^-. Теперь к основаниям будем относить и амины; их молекулы могут присоединять катионы H^+. *Амины — органические основания.*

Реакции с водой. При растворении в воде насыщенные амины частично реагируют с ней:

$$CH_3\ddot{N}H_2 + H{-}OH \rightleftarrows \underset{\text{ион метиламмония}}{[CH_3NH_3]^+} + OH^-.$$

Ионы OH^- в водном растворе амина можно обнаружить с помощью индикатора.

Реакции окисления. Амины горят на воздухе и способны образовывать с ним взрывчатые смеси. Продукты горения амина — углекислый газ, азот и водяной пар:

$$4CH_3NH_2 + 9O_2 \rightarrow 4CO_2 + 2N_2 + 10H_2O.$$

Применение. Амины используют в производстве полимеров, синтетических волокон, красителей, лекарственных препаратов.

Физиологическое действие. В природе распространены амины различного состава и строения; некоторые из них имеют высокую биологическую активность.

Большинство аминов являются токсичными веществами. Например, метиламин раздражает слизистые оболочки, вызывает нарушение дыхания, отрицательно воздействует на нервную систему и внутренние органы.

ВЫВОДЫ

Амины — продукты замещения атомов Гидрогена в молекуле аммиака NH_3 на углеводородные остатки. Молекулы многих аминов содержат характеристическую группу атомов $-NH_2$, называемую аминогруппой.

Систематические названия насыщенных аминов состоят из названия соответствующего алкана, номера атома Карбона, с которым соединена аминогруппа, и слова «амин».

Амины — органические основания. Они реагируют с водой, кислотами, горят на воздухе. Их используют в производстве органических веществ. Многие амины токсичны.

?

193. Какие соединения называют аминами?
194. Изобразите структурные формулы молекул бутан-1-амина и пентан-2-амина.

195. Охарактеризуйте строение молекулы метиламина.
196. Почему амины называют органическими основаниями?
197. Вычислите массовую долю Нитрогена в этиламине.
198. Найдите плотность (при н. у.) и относительную плотность метиламина по водороду.
199. Составьте молекулярное и ионно-молекулярное уравнения реакции метиламина с водным раствором нитратной кислоты. Примите во внимание, что продукт реакции растворяется в воде.
200. Массовая доля Нитрогена в образце технического метиламина равна 40 %. Вычислите массовую долю примесей в веществе.
201. Выведите химическую формулу насыщенного амина, если:
   а) его пары тяжелее воздуха в 2,52 раза;
   б) массовая доля Нитрогена в соединении равна 0,311.
202. При сгорании амина, молекула которого содержала одну аминогруппу, образовались водяной пар и 0,3 моль газов. После конденсации водяного пара и пропускания остальных продуктов реакции в избыток раствора щелочи осталось 0,1 моль газа. Найдите формулу амина.

27 Анилин

Материал параграфа поможет вам:

- узнать о составе и строении молекулы анилина;
- выяснить свойства анилина;
- получить сведения о получении анилина, его применении и влиянии на окружающую среду.

Простейшим ароматическим амином является *анилин*, или фениламин $C_6H_5NH_2$. Это — бесцветная жидкость с характерным запахом, которая растворяется в спирте, бензене, но малорастворимая в воде.

Строение молекулы. Молекула анилина состоит из двух частей — аминогруппы и бензенового кольца (рис. 71). Неподеленная электронная пара атома Нитрогена образует общую электронную систему с *p*-электронами бензенового кольца (рис. 72). Часть электрон-

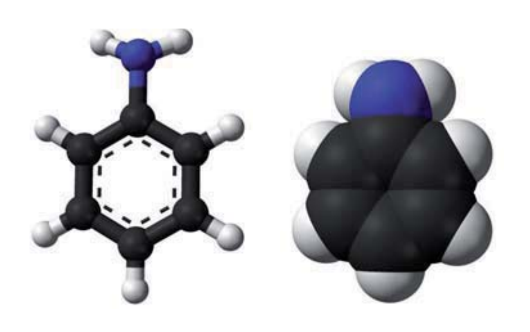
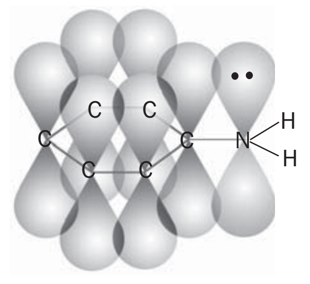


Рис. 71. Модели молекулы анилина



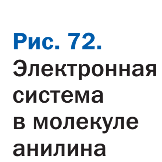


Рис. 72. Электронная система в молекуле анилина

ной плотности от атома Нитрогена перемещается в бензеновое кольцо и неравномерно распределяется в нем[1]:

$\ddot{N}H_2$

δ− δ− δ−

▶ Сравните электронное строение молекул анилина и фенола.

Химические свойства. В водном растворе анилина почти нет ионов, а индикаторы не изменяют своей окраски.

Некоторые реакции, в которые вступает анилин, протекают с участием аминогруппы, а другие — с участием бензенового кольца.

Реакции с участием аминогруппы. Молекула $C_6H_5NH_2$ труднее, чем молекула CH_3NH_2,

[1] Наибольшая электронная плотность в бензеновом кольце сосредоточивается в *орто*- и *пара*-положениях (с. 100).

соединяется с катионом H^+ и слабее удерживает его. Поэтому анилин, в отличие от метиламина, взаимодействует только с сильными кислотами. В результате реакций образуются соли, являющиеся растворимыми в воде ионными соединениями:

$$\underset{\text{анилин, или фениламин}}{C_6H_5NH_2} + HCl \rightarrow \underset{\text{фениламмоний хлорид}}{[C_6H_5NH_3]Cl}.$$

▶ Запишите ионно-молекулярное уравнение этой реакции.

Реакция замещения атомов Гидрогена в бензеновом кольце. Анилин взаимодействует с водным раствором брома (бромной водой) с образованием белого, иногда — едва желтоватого осадка (рис. 73). При этом в бензеновом кольце молекулы амина происходит замещение сразу трех атомов Гидрогена атомами Брома[1]:

$$C_6H_5NH_2 + 3Br_2\text{(водный раствор)} \rightarrow C_6H_2Br_3NH_2\downarrow + 3HBr.$$

анилин — 2,4,6-трибромоанилин[2]



Рис. 73. **Реакция анилина с бромной водой**

---

[1] Как и в реакции фенола с бромной водой.

[2] Названия производных анилина составляют так же, как и производных фенола.

Реакции окисления. Анилин горит коптящим пламенем. В отличие от бензена, он легко окисляется на воздухе, превращаясь в различные вещества.

При добавлении хлорной извести или хлорной воды (раствор хлора в воде) к водному раствору анилина появляется фиолетовая окраска, которую имеют продукты окисления амина (рис. 74). Так можно обнаружить даже незначительное количество анилина.



Рис. 74. Реакция анилина с хлорной известью

Получение и применение. Анилин является важнейшим амином. Промышленный метод его получения основан на восстановлении нитробензена $C_6H_5NO_2$ водородом при 250—350 °C и наличии катализатора:

$$\underset{\text{нитробензен}}{C_6H_5NO_2} + 3H_2 \xrightarrow{t,\,k} \underset{\text{анилин}}{C_6H_5NH_2} + 2H_2O.$$

Анилин служит исходным веществом в производстве многих органических соединений — красителей, некоторых лекарственных препаратов, полимеров, пестицидов.

Физиологическое действие. Анилин — ядовитое вещество. Этот амин и его производные раздражают слизистые оболочки, затрудняют дыхание, негативно влияют на кровь, внутренние органы, нервную систему. Попадая в окружающую среду, анилин наносит вред растениям, животным.

ВЫВОДЫ

Анилин $C_6H_5NH_2$ — бесцветная жидкость с характерным запахом, малорастворимая в воде. Этот амин является более слабым основанием, чем насыщенные амины. Водный раствор анилина не изменяет окраски индикаторов. Вещество реагирует с сильными кислотами, бромной водой, окисляется на воздухе, горит.

В промышленности анилин получают из нитробензена. Его используют в производстве красителей, лекарственных средств, полимеров.

Анилин и его производные отрицательно воздействуют на живые организмы, наносят вред окружающей среде.

?

203. Объясните, почему осно́вные свойства у анилина выражены в меньшей степени, чем у метиламина.
204. Допишите схемы реакций и составьте химические уравнения:
   а) $C_6H_5NH_2 + O_2 \rightarrow \ldots$;
   б) $C_6H_5NH_2 + HBr \rightarrow \ldots$.
205. Вычислите массовые доли элементов в анилине.
206. Какую массу нитробензена взяли для получения анилина, если образовалось 200 кг амина, а прореагировало 95 % исходного вещества?
207. При сгорании ароматического амина образовались вода и 1,3 моль газов. После пропускания их в избыток раствора щелочи осталось 0,1 моль газа. Найдите формулу амина.

28 Аминокислоты

Материал параграфа поможет вам:

- отличать аминокислоты от других органических соединений;

- узнать о биологической роли аминокислот;
- ознакомиться со свойствами аминокислот.

Особое значение для живых организмов имеют *аминокислоты*. Фрагменты их молекул входят в состав таких веществ как белки, ферменты, гормоны.

Аминокислоты — производные углеводородов, в молекулах которых имеются амино- и карбоксильные группы.

α-Аминокислоты

$$R{-}\underset{\substack{|\\ NH_2}}{CH}{-}C{\overset{\displaystyle O}{\underset{\displaystyle OH}{\lessgtr}}}$$

В природе наиболее распространены α-*аминокислоты*. В молекулах этих кислот аминогруппа соединена с ближайшим к карбоксильной группе атомом Карбона. Их общая формула — $R{-}\underset{\substack{|\\ NH_2}}{CH}{-}COOH$.

Биологическая роль. Молекулы разных белков состоят из фрагментов молекул двадцати α-аминокислот. Больше половины этих кислот образуется в живых организмах из продуктов обмена веществ. Другие α-аминокислоты, необходимые для синтеза белков, человек и животные получают вместе с пищей. Такие аминокислоты называют *незаменимыми*. Растения синтезируют все аминокислоты, из которых образуются белки.

Названия. Систематические названия аминокислот составляют, добавляя к названиям соответствующих карбоновых кислот приставку *амино-* (табл. 4). Положение аминогруппы указывают в названиях цифрами (номер 1 присваивают атому Карбона карбоксильной группы):

$$H_2N{-}\overset{4}{C}H_2{-}\overset{3}{C}H_2{-}\overset{2}{C}H_2{-}\overset{1}{C}OOH.$$

4-аминобутановая кислота

Другие названия аминокислот происходят от тривиальных названий карбоновых кислот (табл. 3). Положение аминогруппы в молекуле указывают греческими буквами α, β, γ и т. д.,

начиная от ближайшего к карбоксильной группе атома Карбона:

$$H_2N-\overset{\gamma}{C}H_2-\overset{\beta}{C}H_2-\overset{\alpha}{C}H_2-COOH.$$

γ-аминомасляная кислота

Для α-аминокислот, из которых образуются белки, чаще используют тривиальные названия — глицин, аланин и др. Кроме того, эти вещества обозначают символами, состоящими из трех первых букв русского или английского названия аминокислоты (табл. 4).

Таблица 4

Формулы и названия некоторых α-аминокислот

Формула	**Название**	
	систематическое	**тривиальное***
H_2N-CH_2-COOH	Аминоэтановая	Глицин (Гли, Gly)
$CH_3-\underset{\displaystyle NH_2}{\underset{\vert}{CH}}-COOH$	2-Аминопропановая	Аланин (Ала, Ala)
$CH_3-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{\vert}{CH}}-CH_2-\underset{\displaystyle NH_2}{\underset{\vert}{CH}}-COOH$	2-Амино-4-метилпентановая	Лейцин (Лей, Leu)

* В скобках — символ α-аминокислоты.

Простейшей α-аминокислотой является аминоэтановая, или аминоуксусная, кислота[1] (рис. 75, 76).

Строение. В отличие от карбоновых и неорганических кислот аминокислоты состоят не

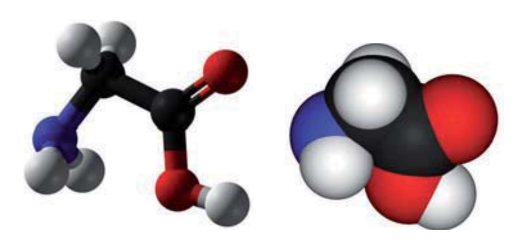


Рис. 75. Модели молекулы аминоуксусной кислоты

[1] Аминометановой кислоты не существует. В момент образования вещество разлагается на аммиак и углекислый газ.



Рис. 76. Аминоуксусная кислота

из молекул, а из особых ионов, называемых *биполярными*[1]. Такой ион образуется в растворе вследствие отщепления катиона H^+ от карбоксильной группы и присоединения его к аминогруппе. На атоме Оксигена возникает отрицательный заряд, а на атоме Нитрогена — положительный ($^+NH_3–CHR–COO^-$):

$$\underset{\displaystyle NH_2}{R–\overset{}{CH}–COOH} \rightleftarrows \underset{\displaystyle ^+NH_3}{R–CH–COO^-}.$$

Физические свойства. Аминокислоты — кристаллические вещества. Они хорошо растворяются в воде, а в органических растворителях, как правило, нерастворимы. Водные растворы аминокислот с одной карбоксильной и одной аминогруппой в молекуле почти нейтральны; в них индикаторы не изменяют своей окраски. Некоторые аминокислоты имеют сладкий или горький вкус.

Химические свойства. Благодаря наличию в молекулах кислотных (–COOH) и осно́вных (–NH_2) групп атомов аминокислоты являются амфотерными веществами. Они реагируют со щелочами и кислотами с образованием солей. В первом случае взаимодействие происходит с участием карбоксильной группы молекулы кислоты

$$\underset{\text{аминоэтановая кислота}}{H_2N–CH_2–\mathbf{COOH}} + NaOH \rightarrow \underset{\text{натрий аминоэтаноат}}{H_2N–CH_2–COONa} + H_2O,$$

[1] Другое название — внутренние соли.

а во втором — с участием аминогруппы:

$$\underset{\text{глицин}}{H_2N{-}CH_2{-}COOH} + HCl \rightarrow \underset{\text{глициний хлорид}}{[H_3N{-}CH_2{-}COOH]Cl}.$$

α-Аминокислота взаимодействует в водном растворе с купрум(II) гидроксидом с образованием соединения синего цвета (рис. 77). Эта реакция является качественной на α-аминокислоты.

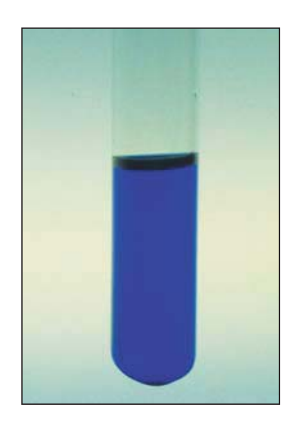


Рис. 77. Раствор продукта взаимодействия глицина с купрум(II) гидроксидом

Реакции между аминокислотами. В определенных условиях молекулы α-аминокислот взаимодействуют друг с другом. Продуктами таких реакций являются *пептиды*. Схема образования *дипептида* из двух молекул аминоэтановой кислоты:

$$H_2N{-}CH_2{-}\underset{\underset{O}{\|}}{C}{-}\boxed{OH + H}{-}\underset{\underset{H}{|}}{N}{-}CH_2{-}\underset{\underset{O}{\|}}{C}{-}OH \rightarrow$$

$$\rightarrow H_2N{-}CH_2{-}\underset{\underset{O}{\|}}{C}{-}\underset{\underset{H}{|}}{N}{-}CH_2{-}\underset{\underset{O}{\|}}{C}{-}OH + H_2O.$$

В молекуле дипептида (рис. 78), как и в молекуле аминокислоты, также имеются амино- и карбоксильная группы. Каждая из этих групп может реагировать с противоположной по свойствам группой еще одной молекулы аминокислоты с образованием трипептида. Из многих молекул аминокислот образуются полипептиды.

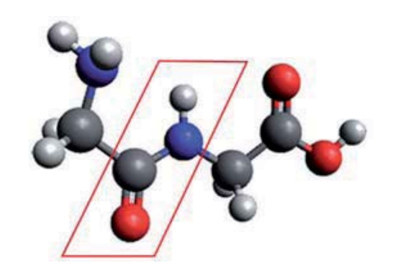


Рис. 78. Модель молекулы дипептида (выделена группа атомов –CO–NH–)

Молекулы полипептидов содержат группы атомов (рис. 78), которые называют *пептидными группами*:

$$-\underset{\underset{\displaystyle O}{\|}}{C}-\underset{\underset{\displaystyle H}{|}}{N}-$$

Применение аминокислот. Аминокислоты используют в медицине в качестве лекарственных препаратов (рис. 79) при заболеваниях крови, внутренних органов, нервной системы, нарушениях обмена веществ. Они обезвреживают токсичные вещества в организме. Некоторые аминокислоты служат пищевыми добавками в животноводстве.

Амінокислотний склад в 100 г продукту:

Незамінні амінокислоти		Замінні амінокислоти	
Триптофан	300 мг	Гістидин	400 мг
Треонін	1500 мг	Аланін	1100 мг
Валін	1300 мг	Аргінін	600 мг
Ізолейцин	1300 мг	Аспарагін	2300 мг
Лейцин	2300 мг	Глутамін	3900 мг
Метіонін + цистеїн	800 мг	Пролін	1400 мг
Лізин	2100 мг	Серин	1100 мг
Фенілаланін + тірозин	1300 мг	Гліцин	400 мг

Рис. 79. Аминокислоты в лекарственном препарате

ВЫВОДЫ

Аминокислоты — производные углеводородов, в молекулах которых имеются амино- и карбоксильные группы. В молекулах α-аминокислот аминогруппа соединена с атомом Карбона, ближайшим к карбоксильной группе. Фраг-

менты молекул двадцати α-аминокислот входят в состав молекул белков.

Аминокислоты — амфотерные соединения. Они реагируют со щелочами и кислотами. Молекулы аминокислот могут взаимодействовать между собой. При этом образуются пептиды — вещества, молекулы которых состоят из фрагментов молекул аминокислот, соединенных пептидными группами атомов –CO–NH–.

Аминокислоты используют в медицине, добавляют в корма сельскохозяйственных животных.



208. Какие соединения называют аминокислотами?

209. Найдите соответствие:

Структурная формула молекулы

1) $$\begin{array}{ccccccc} & & & & CH_3 & & \\ & & & & | & & \\ CH_3 & - & CH & - & CH & - & COOH; \\ & & | & & & & \\ & & NH_2 & & & & \end{array}$$

2) $$\begin{array}{ccccccc} & & CH_3 & & & & \\ & & | & & & & \\ H_2N & - & C & - & CH_2 & - & COOH; \\ & & | & & & & \\ & & CH_3 & & & & \end{array}$$

3) $$\begin{array}{ccccccccc} & & & & CH_3 & & & & \\ & & & & | & & & & \\ CH_3 & - & CH & - & CH & - & CH & - & COOH; \\ & & | & & & & | & & \\ & & CH_3 & & & & NH_2 & & \end{array}$$

Название аминокислоты

а) 3-амино-3-метилбутановая;
б) 3-амино-2-метилбутановая;
в) 2-амино-3,4-диметилпентановая.

210. Составьте структурные формулы молекул таких кислот:
   а) 2-аминопентановой;
   б) 3-амино-2,3-диметилбутановой;
   в) 4-амино-3-метилбутановой.

211. Изобразите структурную формулу молекулы α-аминобутановой кислоты.

212. Сравните химические свойства этановой и аминоэтановой кислот.

213. Вычислите массовую долю Карбона в γ-аминомасляной кислоте.

214. Какую массу аминоуксусной кислоты следует растворить в 100 г воды, чтобы приготовить раствор с массовой долей кислоты 16,7 %?

215. Смешали одинаковые количества вещества глицина и аланина. Определите массовые доли аминокислот в смеси.

29 Белки

Материал параграфа поможет вам:

- вспомнить состав и функции белков в организмах;
- расширить свои знания о свойствах белков.

Большая группа природных нитрогенсодержащих веществ имеет огромное значение для живых организмов. Это — *белки*.

Белки — полипептиды, состоящие из фрагментов молекул α-аминокислот и выполняющие особые функции в живых организмах.

Белки являются «строительным» материалом для клеток. Кроме этого, они регулируют обмен веществ (например, гемоглобин переносит кислород от легких к тканям), обеспечивают двигательную деятельность организма, защиту от инородных белков, бактерий, вирусов. Большинство химических процессов в живых организмах происходит с участием белков-катализаторов; их называют ферментами. Белки также являются источником энергии для организма. При полном расщеплении 1 г белка выделяется более 17 кДж теплоты.

В организмах животных и человека белки формируют мышечную, соединительную, покровную ткани, волосы, ногти. Среди важнейших белков — гемоглобин, миоглобин (оба находятся в крови), инсулин (в поджелудочной железе), кератин (в волосах), коллаген (в коже, костях), иммуноглобулины, интерфероны.

Человек получает белки с пищей, молоком, животные — с кормами. Под действием ферментов белки расщепляются на аминокислоты, из которых синтезируются другие белки,

свойственные данному организму. В растениях белки образуются из неорганических веществ в результате фотосинтеза:

углекислый газ + вода + некоторые растворимые соли $\xrightarrow{h\nu}$ → белки + кислород.

Состав белков. Различают простые и сложные белки. К простым белкам относятся те, молекулы которых состоят только из остатков молекул аминокислот.

▶ Назовите элементы, атомы которых содержатся в молекулах простых белков.

В молекулах сложных белков имеются еще и остатки молекул углеводов, ортофосфатной кислоты, некоторых других веществ.

Это интересно
Белки имеются также в бесклеточных организмах — вирусах.

Белки являются высокомолекулярными соединениями. Значения относительных молекулярных масс белков очень велики и составляют от нескольких тысяч до нескольких миллионов.

Строение молекул. Белки по своему строению не имеют аналогов среди других органических соединений, которые вы изучали на уроках химии. Молекулы этих веществ состоят из фрагментов молекул α-аминокислот, соединенных пептидными группами. Из курса биологии вам известно, что существует четыре уровня структурной организации белков.

Первичная структура белка — это полипептидная цепь с четкой последовательностью аминокислотных остатков:

$$H_2N-\underset{R_1}{\underset{|}{CH}}-\underset{O}{\underset{\|}{C}}-\underset{H}{\underset{|}{N}}-\underset{R_2}{\underset{|}{CH}}-\underset{O}{\underset{\|}{C}}-\underset{H}{\underset{|}{N}}-\underset{R_3}{\underset{|}{CH}}-\underset{O}{\underset{\|}{C}}-\ldots-\underset{H}{\underset{|}{N}}-\underset{R_n}{\underset{|}{CH}}-COOH$$

(R — углеводородные и другие остатки).

Цепь может приобретать определенную пространственную форму (обычно — форму спирали) вследствие образования водородной связи между атомом Оксигена CO-группы одного витка

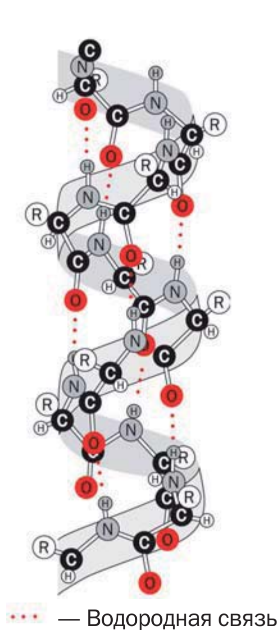


Рис. 80. Вторичная структура белка

спирали и атомом Гидрогена NH-группы соседнего витка. Такую структуру белка называют вторичной (рис. 80).

Третичная структура формируется при свертывании спирали полипептидной цепи в клубок (глобулу) вследствие возникновения связей $–S–S–$, $–COO^{-}\cdots{}^{+}NH_3–$ ***между фрагментами молекул.***

Четвертичная структура белка является системой сложной формы; в ней объединены несколько глобул. Это — единый комплекс, выполняющий определенную функцию в живом организме. Между фрагментами глобул возникают новые водородные и другие связи. Такую структуру имеет гемоглобин; его молекула состоит из четырех глобул.

Свойства белков. Некоторые белки растворяются в воде; при этом образуются коллоидные растворы. Поскольку в молекулах белков имеются амино- и карбоксильные группы, эти вещества являются амфотерными.

При нагревании белков или их коллоидных растворов, добавлении к ним растворов

кислот, щелочей, солей Купрума(II), Плюмбума(II) или некоторых других металлических элементов, органических растворителей (например, этанола), а также действии ультрафиолетовых лучей, радиации либо ультразвука происходит осаждение белков. Такое явление называют *денатурацией*[1] (рис. 81). Оно обусловлено разрушением пространственной структуры белка; вследствие этого белки теряют способность выполнять свои биологические функции. Осаждение белков наблюдается и при скисании молока, когда образуется молочная кислота.

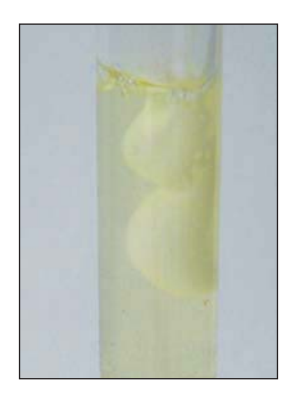


Рис. 81. Денатурация белка

При отравлении человека солями некоторых металлических элементов рекомендуют выпить молока или съесть сырое яйцо. Токсичные катионы будут осаждаться вместе с соответствующими белками.

При наличии кислот, щелочей или ферментов белки подвергаются гидролизу. Конечные продукты такого превращения — аминокислоты, остатки молекул которых входили в состав молекул белка. Гидролиз происходит в несколько стадий:

белок → полипептиды → дипептиды → аминокислоты.

[1] Термин происходит от греческого слова denaturatus — лишенный природных свойств.

Некоторые реакции с участием белков сопровождаются изменением цвета (поэтому их называют цветными). Среди таких реакций — биуретовая[1] и ксантопротеиновая[2].

ЛАБОРАТОРНЫЙ ОПЫТ № 3
Биуретовая реакция

В пробирку налейте 1 мл раствора белка куриного яйца и столько же раствора щелочи, а затем добавьте несколько капель раствора купрум(II) сульфата. Перемешайте содержимое пробирки. Что наблюдаете?

При взаимодействии белков с раствором соли Купрума(II) в щелочной среде появляется фиолетовая окраска. Это — *биуретовая реакция*, которая является качественной на пептидные группы в молекулах (рис. 82)[3].

Если белки или их растворы нагревать с концентрированной нитратной кислотой, то имеющиеся в белках фрагменты молекул аро-



Рис. 82. Результат биуретовой реакции

[1] По названию нитрогенсодержащего соединения — биурета, которое вступает в аналогичную реакцию.
[2] Название происходит от греческих слов xanthos — желтый и prötos — первый.
[3] С помощью биуретовой реакции можно обнаружить белок в сыворотке, молоке, коллоидных растворах веществ, содержащихся в горохе, фасоли.



Рис. 83. Результат ксантопротеиновой реакции

матических аминокислот взаимодействуют с этой кислотой с образованием нитрогенсодержащих соединений желтого цвета (*ксантопротеиновая реакция*, рис. 83). Это же происходит при попадании нитратной кислоты на кожу (образуется несмываемое водой желтое пятно).

ЛАБОРАТОРНЫЙ ОПЫТ № 4

Ксантопротеиновая реакция

В пробирку налейте 1 мл раствора белка куриного яйца, добавьте несколько капель концентрированной нитратной кислоты и осторожно нагрейте содержимое пробирки. Что наблюдаете?[1]

Практическое значение. Белки являются неотъемлемым компонентом нашей пищи, а также рациона животных. Суточная потребность взрослого человека в белках составляет в среднем 100—110 г. Белковые препараты используют для лечения и профилактики некоторых заболеваний. В животноводстве и птицеводстве для повышения пищевой ценности кормов их обогащают искусственными белками, которые производят с помощью микробиологического синтеза.

[1] Раствор аммиака или щелочи усиливает окраску образующихся соединений.

С давних времен люди используют различные вещества и материалы, имеющие белковую основу — шерсть, кожу, шелк, меха, клеи и др. Современные стиральные порошки содержат ферменты, способствующие разложению белковых загрязнений на тканях.

ВЫВОДЫ

Белки — полипептиды, состоящие из остатков молекул α-аминокислот. Они выполняют важные биологические функции в живых организмах.

Белки являются амфотерными соединениями. При их нагревании, облучении, добавлении некоторых веществ происходит денатурация белка — разрушение его пространственного строения и потеря биологических функций. В организмах человека, животных белки расщепляются на аминокислоты.

Белки можно обнаружить с помощью качественных реакций — биуретовой и ксантопротеиновой.



216. Какие соединения называют белками? Охарактеризуйте их роль в жизнедеятельности организмов.
217. Белки, как известно, являются полипептидами. Все ли полипептиды можно отнести к белкам? Ответ аргументируйте.
218. Почему белки являются амфотерными соединениями?
219. Что такое денатурация белка? Чем она может быть вызвана?
220. Объясните появление осадка при скисании молока.
221. Охарактеризуйте цветные реакции белков.
222. Массовая доля белков в фасоли составляет 21 %, а среднее значение массовой доли Нитрогена в белках равно 16 %. Какая приблизительная масса Нитрогена содержится в 60 г фасоли?

5 раздел
Синтетические высокомолекулярные органические соединения и материалы на их основе

Крахмал, целлюлоза, белки являются *природными высокомолекулярными соединениями*[1]. Они образуются в живых организмах и состоят из молекул, построенных из большого количества одинаковых или разных групп атомов. Многие другие вещества с подобным строением молекул получают с помощью химических реакций. Такие вещества называют *синтетическими высокомолекулярными соединениями*.

30 Синтетические высокомолекулярные соединения

Материал параграфа поможет вам:

- характеризовать синтетические высокомолекулярные соединения;
- узнать о классификации этих соединений;
- выяснить свойства синтетических высокомолекулярных соединений.

---

[1] Для словосочетания «высокомолекулярные соединения» используют сокращение — ВМС.

Синтетические высокомолекулярные соединения являются основой пластмасс, волокон, резины. По некоторым свойствам эти материалы превосходят традиционные — древесину, керамику, стекло, металлические сплавы. Синтетические материалы получили широкое применение в промышленности, строительстве, медицине, средствах связи, на транспорте, а также в нашей повседневной жизни, на работе, отдыхе (схема 6).

Схема 6

Применение материалов на основе синтетических высокомолекулярных соединений



Среди синтетических высокомолекулярных соединений — полиэтилен, полипропилен, полистирол. Общее название этих и других подобных веществ — *полимеры*. (Часто полимерами называют все высокомолекулярные соединения.)

Состав и строение. Высокомолекулярные соединения состоят из очень длинных молекул, называемых *макромолекулами*. В этих

частицах многократно повторяется определенная группа атомов — *элементарное звено*. Количество таких звеньев в макромолекуле называют *степенью полимеризации*. При написании формулы полимера или его макромолекулы элементарное звено помещают в скобки, за которыми указывают степень полимеризации n:

$$\underset{\text{полиэтилен}}{(-CH_2-CH_2-)_n}.$$

Соединение, от молекулы которого происходит элементарное звено полимера, называют *мономером*. Мономер для полиэтилена — этен $CH_2{=}CH_2$.

В каждом полимере имеются макромолекулы разной длины, а значит, и разной массы. Поэтому для характеристики полимера используют *среднюю относительную молекулярную массу*[1]. Ее обозначают так же, как и относительную молекулярную массу, и вычисляют по формуле

$$M_r(\text{полимера}) = n \cdot M_r(\text{эл. звена}),$$

где n — среднеарифметическое значение степени полимеризации для данного полимера. Средняя молекулярная масса для разных полимеров обычно составляет от нескольких тысяч до десятков миллионов.

▶ Вычислите среднюю молекулярную массу полиэтилена, если его степень полимеризации равна 5000.

В зависимости от строения макромолекул (рис. 84) различают *линейные*, *разветвленные* и *сетчатые* (пространственные) полимеры.

Элементарные звенья в макромолекуле линейного полимера соединены в неразветв-

---

[1] Далее этот термин будем использовать без слова «относительная».

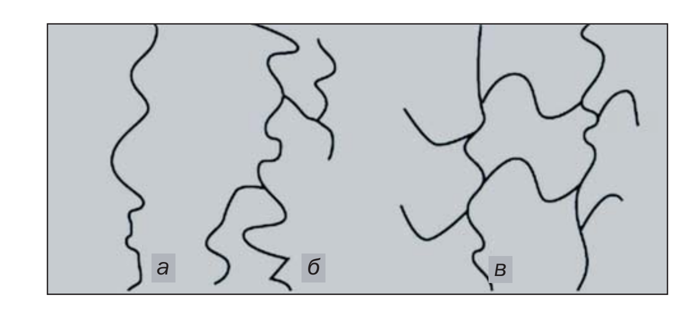


Рис. 84. Строение макромолекул: *а* — линейное; *б* — разветвленное; *в* — сетчатое

ленную цепь. Такое строение имеют молекулы природного полимера — целлюлозы и синтетических полимеров — полиэтилена, полипропилена. Макромолекулы разветвленных полимеров[1] содержат боковые ответвления, состоящие из многих элементарных звеньев. У сетчатых полимеров — трехмерное строение. Цепи в них сшиты отдельными атомами или группами атомов с помощью ковалентных связей; все вещество является одной гигантской молекулой. К сетчатым полимерам относятся фенолоформальдегидные смолы (с. 199).

Физические свойства полимеров в значительной мере определяются массой макромолекул, их длиной, разветвленностью, упорядоченным или хаотичным расположением в твердом веществе.

Как правило, полимеры нерастворимы в воде, а те, которые имеют сетчатое строение, — еще и в органических растворителях. Полимеры с линейными макромолекулами медленно растворяются в некоторых органических растворителях с образованием вязких растворов.

Полимеры сетчатого строения обладают большей прочностью, чем линейные полимеры.

Для большинства полимеров не существует определенных температур плавления и кипе-

[1] Пример природного полимера с разветвленными макромолекулами — амилопектин (с. 153).

ния. Линейные полимеры при нагревании сначала размягчаются, затем плавятся в определенном температурном интервале с образованием вязких жидкостей, а при дальнейшем нагревании разлагаются. Полимеры сетчатого строения начинают разлагаться еще до плавления.

Многие полимеры после нагревания и дальнейшего охлаждения не претерпевают химических превращений и сохраняют свои физические свойства. Эти вещества можно многократно расплавлять и заливать в формы, где они при охлаждении затвердевают. Полимеры с такими свойствами называют *термопластичными*. Среди них — полиэтилен, полипропилен. Из термопластичных полимеров с помощью прессования, литья производят изделия различного назначения.

Существуют полимеры, которые при нагревании теряют способность плавиться, а также пластичность. Это — результат необратимых химических изменений в веществах, связанных с образованием дополнительных ковалентных связей и формированием сетчатого строения. Такие полимеры называют *термореактивными*. К ним относятся фенолоформальдегидные смолы.

Химические свойства полимеров зависят от наличия в их макромолекулах кратных связей, различных функциональных групп. Многие полимеры реагируют с окислителями, концентрированными растворами кислот и щелочей. Значительную химическую инертность проявляют полиэтилен и полипропилен.

Полимеры — термически неустойчивые соединения. Реакцию разложения полиэтилена

$$(-CH_2-CH_2-)_n \xrightarrow{t} nCH_2{=}CH_2\uparrow$$

используют в лаборатории для получения этена (рис. 85).

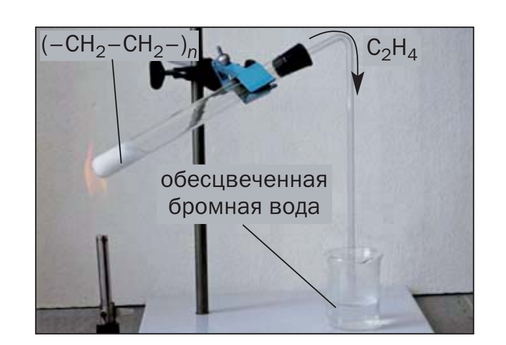


Рис. 85. Разложение полиэтилена и обесцвечивание этеном бромной воды

ВЫВОДЫ

Вещества, молекулы которых построены из большого количества одинаковых или разных групп атомов, называют высокомолекулярными соединениями, или полимерами.

Макромолекула полимера состоит из элементарных звеньев; их количество называют степенью полимеризации. Мономер — соединение, от которого происходит полимер. Одной из характеристик полимера является его средняя молекулярная масса. В зависимости от строения макромолекул различают линейные, разветвленные и сетчатые полимеры, а по отношению к нагреванию — термопластичные и термореактивные.

Физические свойства полимеров зависят от массы, длины, разветвленности макромолекул, их относительного расположения в пространстве, а химические — от наличия кратных связей и разных характеристических групп в макромолекулах.



223. Какие соединения называют высокомолекулярными?
224. Почему молекулярную массу полимера называют средней?
225. Вычислите степень полимеризации полипропилена, если средняя молекулярная масса образца этого полимера равна 21 000.
226. Чем различаются:
   а) линейные, разветвленные и сетчатые полимеры;
   б) термопластичные и термореактивные полимеры?

227. Чем похожи и чем различаются молекула этена и элементарное звено полиэтилена?

228. Молекула мономера состоит из двух атомов Карбона и атомов двух галогенов. Массовая доля Карбона в веществе равна 20,6 %, а Хлора — 30,5 %. Найдите формулу мономера. Можно ли решить задачу без использования данных о содержании Хлора?

31 Получение высокомолекулярных соединений

Материал параграфа поможет вам:

- вспомнить суть реакции полимеризации;
- получить сведения о реакции поликонденсации.

Высокомолекулярные соединения получают, осуществляя реакции полимеризации и поликонденсации.

Реакция полимеризации. С этим типом химических реакций вы ознакомились, изучая полиэтилен. При образовании макромолекул полимера в каждой молекуле этена разрушается одна из составных частей двойной связи, и молекулы соединяются в длинную цепь простой ковалентной связью (с. 55).

Приводим схему образования полимера из другого ненасыщенного углеводорода — пропена:

$$CH_2{=}\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}} + CH_2{=}\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}} + CH_2{=}\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}} + \ldots \xrightarrow{t,\,p,\,k}$$

$$\rightarrow \ldots{-}CH_2{-}\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}{-}CH_2{-}\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}{-}CH_2{-}\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}{-}\ldots;$$

полипропилен

$$n\,CH_2{=}\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}} \xrightarrow{t,\,p,\,k} ({-}CH_2{-}\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}{-})_n.$$

мономер полимер

***Реакция полимеризации* — реакция образования полимера в результате последовательного соединения молекул мономера за счет разрыва одной из составляющих двойной связи[1].**

Общая схема реакций полимеризации с участием ненасыщенных углеводородов и их производных, в молекулах которых имеется одна двойная связь, —

$$\underset{X}{CH_2{=}\overset{|}{C}H} + \underset{X}{CH_2{=}\overset{|}{C}H} + \underset{X}{CH_2{=}\overset{|}{C}H} + \underset{X}{CH_2{=}\overset{|}{C}H} + \ldots \rightarrow$$

$$\rightarrow \ldots{-}CH_2{-}\underset{X}{\overset{|}{C}H}{-}CH_2{-}\underset{X}{\overset{|}{C}H}{-}CH_2{-}\underset{X}{\overset{|}{C}H}{-}CH_2{-}\underset{X}{\overset{|}{C}H}{-}\ldots,$$

$$\text{или} \quad nCH_2{=}\underset{X}{\overset{|}{C}H} \rightarrow ({-}CH_2{-}\underset{X}{\overset{|}{C}H}{-})_n,$$

Реакция полимеризации

$$nA{=}B \rightarrow ({-}A{-}B{-})_n$$

мономер полимер

где X — H (мономером является этен, полимером — полиэтилен), CH_3 (пропен, полипропилен), Cl (винилхлорид, поливинилхлорид), C_6H_5 (стирол, полистирол)[2].

▶ Составьте схему образования поливинилхлорида.

В реакции полимеризации могут принимать участие два разных вещества (два мономера); в этом случае образуется сополимер.

Реакция поликонденсации. Такие реакции реализуются с участием характеристических групп мономеров.

***Реакция поликонденсации* — реакция образования полимера в результате взаимодействия характеристических групп молекул мономера с выделением воды, аммиака, хлороводорода.**

---

[1] То есть разрыва π-связей.

[2] Для двух последних мономеров приведены традиционные названия.

Реакция поликонденсации
мономер $\xrightarrow[\text{(или др.)}]{-H_2O}$ полимер

В реакции поликонденсации взаимодействуют между собой характеристические группы разных молекул мономера. Таких групп в каждой молекуле должно быть не менее двух.

Процесс поликонденсации является ступенчатым. Сначала взаимодействуют две молекулы мономера с образованием молекулы димера, затем реагируют димерные молекулы и т. д.

Приводим схему реакции поликонденсации двуха́томного спирта этиленгликоля:

$$HO{-}CH_2{-}CH_2{-}O\boxed{H + HO}{-}CH_2{-}CH_2{-}OH \xrightarrow[-H_2O]{k}$$

$$\rightarrow \underset{\text{димер}}{HO{-}CH_2{-}CH_2{-}O{-}CH_2{-}CH_2{-}OH} \text{ и т. д.;}$$

$$n\underset{\text{этиленгликоль}}{HO{-}CH_2{-}CH_2{-}OH} \xrightarrow[-nH_2O]{k} \underset{\text{полиэтиленгликоль}}{({-}O{-}CH_2{-}CH_2{-})_n}.$$

Заметим, что масса макромолекулы полимера — продукта реакции поликонденсации — меньше суммарной массы молекул мономера.

В реакции поликонденсации могут принимать участие два мономера или даже больше. Примером такого взаимодействия является образование полипептида из нескольких аминокислот.

ВЫВОДЫ

Высокомолекулярные соединения получают с помощью реакций полимеризации и поликонденсации.

В реакции полимеризации молекулы мономера соединяются в результате разрыва одной из составляющих кратной связи, а в реакции поликонденсации — за счет взаимодействия характеристических групп молекул мономера.

?

229. Охарактеризуйте реакции полимеризации и поликонденсации.

230. Какие особенности состава и строения молекулы мономера обуславливают его участие в реакции:
а) полимеризации;
б) поликонденсации?

231. Напишите схему реакции полимеризации соединения $CClF{=}CF_2$.

232. Какое вещество может вступать в реакцию полимеризации, а какое — в реакцию поликонденсации:
а) тетрафлуороэтен;
б) аминоэтановая кислота?
Ответ подтвердите схемами соответствующих реакций.

233. Какое количество пептидных групп содержится в продукте поликонденсации аминокислоты, если образовалось:
а) 3 моль воды;
б) 3 г воды?

32 Пластмассы. Полимеры — основа пластмасс

Материал параграфа поможет вам:

- получить представление о пластмассах;
- узнать о важнейших полимерах, из которых производят пластмассы;
- выяснить преимущества и недостатки пластмасс как материалов.

Пластмассы. На определенной стадии развития нашей цивилизации оказалось, что природные материалы уже не соответствуют возрастающим потребностям людей. Кроме того, их ресурсы на планете ограничены. Поэтому во второй половине XX в. начались интенсивные поиски материалов на основе синтетических полимеров. Химики занялись синтезом новых высокомолекулярных соединений, исследованием их свойств, разработ-

кой и внедрением в промышленность технологий производства полимерных материалов.

По своим свойствам полимерные материалы выгодно отличаются от природных. Они более долговечны, не подвергаются коррозии, имеют небольшую плотность, достаточную прочность; их легко обрабатывать, окрашивать в различные цвета, придавать им нужную форму.

Многие полимеры являются основой *пластических масс*, или сокращенно — *пластмасс*.

Пластмассы — материалы на основе полимеров, сохраняющие после нагревания и последующего охлаждения приданную им форму.

Кроме полимеров, пластмассы содержат добавки, улучшающие их свойства, повышающие устойчивость к химически агрессивным веществам, изменениям внешних условий. Добавками служат измельченные древесина, мел, графит, бумага, а также сажа, волокна, красители. Полимеры в соответствующих пластмассах являются связующими компонентами. Если к мономеру добавить вещество, которое при нагревании разлагается с выделением газа, то полученный полимер будет похож на застывшую пену; его называют пенопластом (рис. 86). Добавки-пластификаторы придают полимерному материалу пластичность.



Рис. 86. Блоки из пенопласта для утепления зданий

Полимеры — основа пластмасс. Рассмотрим важнейшие полимеры, входящие в состав пластмасс.

Полиэтилен $(-CH_2-CH_2-)_n$ — бесцветный прозрачный или белый полупрозрачный материал, внешне напоминающий парафин (рис. 87). Механические и физические свойства полиэтилена зависят от условий проведения реакции полимеризации[1].



Рис. 87.
Полиэтилен

На полиэтилен не действуют вода, растворы кислот (кроме концентрированной нитратной) и щелочей, жиры, масла. Однако этот полимер неустойчив по отношению к галогенам, при нагревании растворяется в жидких углеводородах и их галогенопроизводных, горит на воздухе.

Полиэтилен — термопластичный полимер. Из него производят водопроводные и канализационные трубы, упаковочную пленку и пленку для теплиц, тару, предметы быта, емкости для хранения неорганических кислот и щелочей (рис. 88). Он также служит тепло- и электроизоляционным материалом. Полиэтиленовые изделия морозоустойчивы, но не выдерживают нагревания выше 60—100 °C.

Политетрафторэтилен, или тефлон $(-CF_2-CF_2-)_n$***, сходен с полиэтиленом. Он***

[1] Различают полиэтилен высокого и низкого давления. Полимер второго вида имеет бóльшую плотность.





Рис. 88. Изделия из полиэтилена

обладает высокой химической стойкостью, не разрушается даже концентрированными кислотами, не растворяется и не набухает ни в одном из растворителей. В отличие от полиэтилена тефлон — негорючий полимер; он выдерживает достаточно высокую температуру.

Полипропилен $(-CH_2-\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}-)_n$ напоминает полиэтилен не только по внешнему виду, но и по многим свойствам. Он также относится к термопластичным полимерам линейного строения. Полипропилен, как и полиэтилен, получают, осуществляя реакцию полимеризации (§ 31). Этот полимер используют для производства волокон, труб, упаковочной пленки, тары, деталей технической аппаратуры, предметов быта, игрушек, одноразовой посуды, а также как изоляционный материал (рис. 89). Изделия из полипропилена имеют повышенную твердость, являются износостойкими.

Поливинилхлорид $(-CH_2-\underset{\displaystyle Cl}{\underset{|}{CH}}-)_n$ — твердое вещество, устойчивое к растворам щелочей,




Рис. 89. Изделия из полипропилена




Рис. 90. Изделия из поливинилхлорида

кислот, многим органическим растворителям. При нагревании выше 110 °C соединение разлагается с выделением хлороводорода.

Поливинилхлорид является термопластичным полимером. Его используют для производства искусственной кожи, линолеума, труб, волокон, тары, различных деталей. Из поливинилхлорида изготовляют сапоги, защитные перчатки (рис. 90).

Полистирол $(-CH_2-\underset{\displaystyle C_6H_5}{\underset{|}{C}H}-)_n$ — аморфный термопластичный полимер линейного строения. Он не реагирует с разбавленными растворами щелочей и кислот, растворим в некоторых органических растворителях. Полистиролу можно придать любую форму и цвет; он хорошо склеивается и обрабатывается. Недостатки этого полимера — невысокие прочность и термостойкость.

Изделия из полистирола и пенополистирола широко используются в бытовой технике, электронике, строительстве, медицине. Из этого полимера изготовляют звуко- и теплоизоляционные, облицовочные и декоративные плиты, детали для медицинских приборов и систем переливания крови, тару для пищевых продуктов, детские игрушки, спасательные круги, буйки, защитные шлемы, одноразовую посуду (рис. 91).

Недостатками пенополистирола являются хрупкость и горючесть. Плиты из этого материала медленно выделяют небольшие количества стирола $C_6H_5-CH=CH_2$ — токсичного





Рис. 91. Изделия из полистирола

вещества, способного накапливаться в организме. Кроме этого, пенополистирол легко воспламеняется и горит с выделением копоти и вредных веществ.

Фенолоформальдегидные смолы — первые синтетические полимеры, получившие широкое применение в различных сферах. Их получают поликонденсацией фенола C_6H_5OH с формальдегидом (метаналем) $\mathrm{H{-}C}\begin{smallmatrix}{\nearrow\!\!\!\!=}\,\mathrm{O}\\ {\searrow}\,\mathrm{H}\end{smallmatrix}$. В зависимости от соотношения исходных веществ, а также катализатора образуются термопластичные или термореактивные смолы.

Фенолоформальдегидный полимер (рис. 92) является основой *фенопластов*. Это термостойкие материалы, нерастворимые в воде и органических растворителях. Из них изготовляют детали электрооборудования, предметы быта. Смеси фенопластов с отходами обработки древесины используют в виде плит в строительстве, производстве мебели. Наполнителями в фенопластах служат также хлопковое волокно, каолин. Из фенолоформальдегидных поли-

Рис. 92. Фрагмент макромолекулы фенолоформальдегидного полимера

меров изготовляют стеклопластики — очень прочные материалы, которые, кроме полимера, содержат стекловолокно или ткань из него.

Недостаток некоторых фенопластов — выделение ими небольшого количества токсичных веществ.

Отходы полимеров и окружающая среда. Все больше полимерной пленки, использованных пластмассовых изделий попадает в окружающую среду (рис. 93). Природа «не умеет» разлагать такие отходы. Их утилизация является актуальной экологической задачей.



Рис. 93. Свалка

Это интересно
Более 10 % от массы всех бытовых отходов приходится на синтетические полимеры и пластмассы.

В развитых странах отходы полимеров и пластмасс переплавляют и применяют в производстве пленки, тары, различного оборудования либо направляют на переработку для получения органических соединений, горючих газовых смесей. Остатки пластмасс измельчают и добавляют к строительным смесям. Сжигая отходы полимеров, получают тепловую энергию. В Украине из отработанного полиэтилена изготовляют пленку для сельского хозяйства. На смену полиэтиленовым пакетам приходят сделанные из отходов целлюлозы (этот полимер сравнительно быстро разрушается микроорганизмами в природных условиях).

ВЫВОДЫ

Пластмассы — материалы на основе полимеров, сохраняющие после нагревания и после-

дующего охлаждения приданную им форму. Пластмассы содержат добавки, улучшающие их свойства.

Полиэтилен, полипропилен, поливинилхлорид, полистирол являются термопластичными полимерами, а фенолоформальдегидные смолы бывают термопластичными и термореактивными.

Изделия из полимеров широко используются в быту, технике, строительстве, медицине, других сферах.

Загрязнение окружающей среды отходами синтетических полимеров является серьезной экологической проблемой.

?

234. Назовите полимеры, являющиеся основой пластмасс, и приведите их формулы.
235. Влияет ли строение полимера на его свойства? Ответ обоснуйте.
236. Назовите преимущества и недостатки использования пластмасс.
237. Состав поливинилацетата (основной компонент клея ПВА) отвечает формуле $(-CH_2-\underset{X}{\underset{|}{CH}}-)_n$, где X — группа CH_3COO-. Напишите схему реакции полимеризации с образованием этого полимера.
238. Вычислите массовые доли элементов в поливинилхлориде.
239. По материалам из интернета подготовьте сообщение о полимере, который называют органическим стеклом, и областях его применения.

33 Каучуки. Резина

Материал параграфа поможет вам:

- получить представление о каучуках и резине;
- ознакомиться с технологией производства резины из каучуков;
- выяснить свойства каучуков и резины;
- узнать о способах утилизации отходов резины.

Каучуки — полимеры растительного или синтетического происхождения, из которых производят резину.

Характерное свойство каучуков — высокая эластичность, т. е. способность после деформации восстанавливать свою форму. Однако при нагревании или охлаждении ниже −50 °C они утрачивают это свойство. Каучуки водонепроницаемы, износоустойчивы, обладают хорошими электроизоляционными свойствами.

Различают природный и синтетические каучуки.

Природный (натуральный) каучук содержится в соке некоторых растений. Этот сок напоминает молоко (рис. 94) и является эмульсией каучука в воде.



Рис. 94. Сбор сока гевеи

Основой натурального каучука является полиизопрен. В макромолекуле этого полимера группы CH_2 расположены по одну сторону от двойной связи:

$$\left[\begin{matrix} -H_2C & & & & CH_2- \\ & \diagdown & C{=}C & \diagup & \\ & \diagup & & \diagdown & \\ H_3C & & & & H \end{matrix} \right]_n$$

Натуральный каучук имеет белый цвет; он легче воды, растворяется в бензине, бензене, некоторых других органических растворителях. Полимер медленно окисляется кислородом воздуха. Чтобы предотвратить окисление каучука, только что полученного из сока растения, и размножение в нем бактерий, его обрабатывают разбавленными растворами

кислот (муравьиной, уксусной) или других веществ, промывают водой и высушивают. В результате каучук приобретает желтоватый цвет (рис. 95).



Рис. 95. На производстве натурального каучука

Среди всех природных высокомолекулярных соединений только каучук обладает высокой эластичностью. Такое свойство каучука обусловлено возможностью свертывания его линейных макромолекул в клубки. Если пластинку из каучука растягивать, то макромолекулы выпрямляются, а если после этого ее «отпустить», то они возвратятся в прежнее состояние и пластинка приобретет первоначальную длину. Приложив большее усилие, каучуковую пластинку можно разорвать.

Синтетические каучуки. Натуральный каучук получают в значительном количестве, однако этого недостаточно для удовлетворения растущих потребностей. Поэтому ученые создали синтетические каучуки, которые оказались успешными заменителями природного каучука и получили широкое применение в различных сферах.

Большинство каучуков происходит от углеводородов с двумя двойными связями в молекуле (с. 56). В зависимости от мономера различают *бутадиеновый* каучук, *изопреновый* (аналог натурального), *хлоропреновый* и др. Их получают, осуществляя реакции полимеризации, преимущественно с участием катализаторов.

Общая схема образования каучуков:

$$CH_2{=}\underset{\displaystyle Y}{\underset{|}{C}}{-}CH{=}CH_2 + CH_2{=}\underset{\displaystyle Y}{\underset{|}{C}}{-}CH{=}CH_2 + \ldots \to$$

$$\to \ldots{-}CH_2{-}\underset{\displaystyle Y}{\underset{|}{C}}{=}CH{-}CH_2{-}CH_2{-}\underset{\displaystyle Y}{\underset{|}{C}}{=}CH{-}CH_2{-}\ldots,$$

или $$n\,CH_2{=}\underset{\displaystyle Y}{\underset{|}{C}}{-}CH{=}CH_2 \to ({-}CH_2{-}\underset{\displaystyle Y}{\underset{|}{C}}{=}CH{-}CH_2{-})_n,$$

Это интересно
Бутадиен-стирольный каучук является продуктом полимеризации двух соединений-мономеров.

где Y — H (мономером является бута-1,3-диен, полимером — бутадиеновый каучук, или полибутадиен); CH_3 (мономер — изопрен, полимер — изопреновый каучук, или полиизопрен); Cl (мономер — хлоропрен, полимер — хлоропреновый каучук, или полихлоропрен).

▶ Напишите схему реакции полимеризации бута-1,3-диена.

Химические свойства. Имея двойные связи в макромолекулах, натуральный и синтетические каучуки могут присоединять водород, галогены, галогеноводороды. При нагревании без доступа воздуха эти полимеры разлагаются с образованием соответствующих мономеров.

Каучуки служат сырьем в производстве резины и резиновых изделий.

Резина. Самым эластичным материалом среди природных и синтетических материалов является резина. Ее в большом количестве используют для изготовления шин (рис. 96).



Рис. 96. Продукция шинного завода

В основе технологии производства резины лежит процесс *вулканизации*, который заклю-

чается в нагревании каучука с серой. Сначала каучук смешивают с наполнителями (глиной, сажей, мелом, кремнеземом), красителями и веществами, увеличивающими срок службы резины. Затем к смеси добавляют определенное количество серы. В результате взаимодействия каучука с серой за счет разрыва одной из составляющих двойной связи происходит сшивание карбоновых цепей с помощью «мостиков» –S–S– (рис. 97). При этом часть двойных связей в макромолекулах остается.

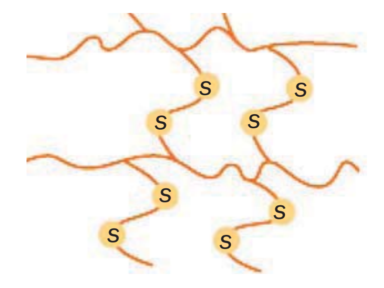


Рис. 97. «Сшитые» карбоновые цепи в резине

Если взять избыток серы, то все двойные связи будут «израсходованы» на сшивание карбоновых цепей, и образуется твердый термореактивный материал — эбонит (рис. 98). Его используют для изготовления электротехнических деталей, химической аппаратуры.



Рис. 98. Эбонитовый стержень

Существуют резины различного назначения — для эксплуатации при высоких или низких температурах (тепло-, морозоустойчивые), для длительного контакта с бензином и нефтью (шланги на автозаправочных стан-

циях), кислотами и щелочами, устойчивые к рентгеновскому излучению и др.

Сравнение свойств каучуков и резины. Каучук является эластичным веществом, а резина — эластичным материалом.

Каучуки и резина не растворяются в воде. Если же поместить измельченные кусочки каучука и резины в органический растворитель (бензен), то через сутки каучук растворится с образованием коллоидного раствора, а резина лишь увеличится в объеме (набухнет). Это свидетельствует о способности резины поглощать органический растворитель.

Каучук благодаря наличию в нем двойных связей может реагировать с галогенами. В частности, его коллоидный раствор в бензене обесцвечивает бромную воду. При нагревании каучуки разлагаются с образованием ненасыщенных соединений.

Наличие Сульфура в резине можно доказать, нагревая ее в пробирке с газоотводной трубкой, погруженной в голубой раствор купрум(II) нитрата. Сероводород, являющийся одним из продуктов термического разложения резины, обусловит образование в растворе черного осадка CuS.

Работая в химической лаборатории, нужно учитывать, что резиновые изделия (пробки, трубки) разрушаются нитратной и концентрированной сульфатной кислотами. Разбавленные хлоридная кислота и растворы щелочей на резину практически не действуют.

Применение каучуков и резины. Синтетический изопреновый каучук по свойствам похож на натуральный. Полученная из него резина отличается высокой прочностью и эластичностью. Этот каучук используют в производстве шин, конвейерных лент, обуви, медицинских и спортивных изделий, изоляционных материалов.

Хлоропреновый каучук негорюч, термо- и светоустойчив, не разрушается смазочными маслами, не окисляется на воздухе. Из него производят резину для оборудования, контактирующего с нефтью и нефтепродуктами. Каучуки, содержащие Флуор, химически устойчивы, выдерживают нагревание до 300 °C.

Основное применение резины — производство шин. Резиновые изделия используют в промышленности, технике, медицине, быту.

Отходы резины и окружающая среда. Почти 90 % от массы резиновых отходов приходится на изношенные автомобильные шины, а остальная часть — ставшие непригодными предметы технического и бытового назначения, старая обувь.

Это интересно
В Европе утилизируют менее половины автомобильных шин, отработавших свой ресурс.

Отходы резины, как и пластмасс, не разрушаются в природных условиях. К сожалению, бóльшая часть их попадает в окружающую среду. Утилизацию резиновых отходов осуществляют сжиганием (после измельчения) либо термическим разложением в специальных агрегатах[1]. В первом случае получают тепловую энергию (теплота сгорания резины примерно такая же, как и угля), а во втором — мономеры для производства каучука.

Резиновые отходы также применяют в качестве поглотителей при очистке сточных вод, в производстве изоляционных материалов, строительстве дорог.

ВЫВОДЫ

Каучуки — полимеры, из которых производят резину и резиновые изделия. Характерное свойство каучуков — эластичность, т. е.

[1] При сжигании резины на воздухе образуется много токсичных веществ.

способность после деформации восстанавливать свою форму.

Большинство каучуков являются полимерами углеводородов с двумя двойными связями в молекулах. Различают натуральный и синтетические каучуки.

Резина — продукт вулканизации каучука. Этот эластичный материал широко используется во многих сферах. Утилизация резиновых отходов является одной из важных экологических задач.



240. Охарактеризуйте свойства каучука.
241. В чем заключается процесс вулканизации?
242. Чем различаются каучук и резина, резина и эбонит?
243. Назовите сферы использования каучуков.
244. По материалам из интернета подготовьте сообщения:
    а) о происхождении названия «каучук»;
    б) об истории открытия резины;
    в) об изобретении линолеума.
245. Назовите несколько синтетических каучуков и запишите их химические формулы.
246. Составьте схему реакции полимеризации с образованием хлоропренового каучука.
247. Вычислите массовую долю Хлора в хлоропреновом каучуке.

34 Природные и химические волокна

Материал параграфа поможет вам:

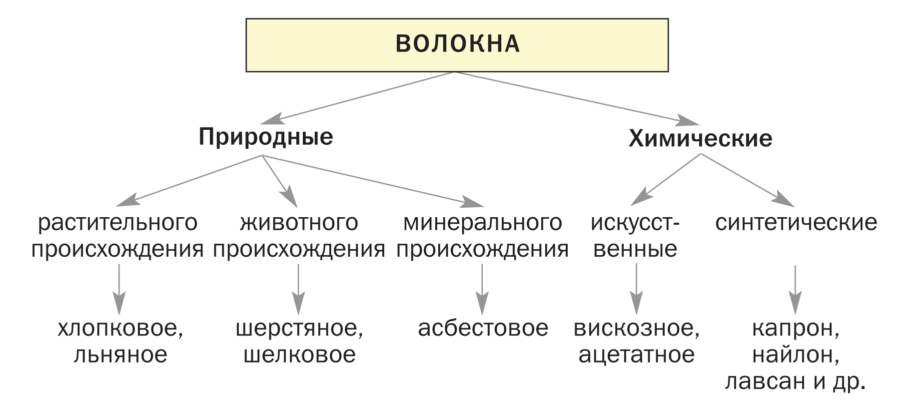
- получить представление о природных и химических волокнах;
- различать природные и химические волокна;
- узнать о сферах использования волокон.

Волокна — это длинные гибкие нити, полученные из природных или синтетических полимеров и используемые для изготовления пряжи и текстильных изделий.

Различают *природные* (натуральные) и *химические* волокна (схема 7).

Схема 7

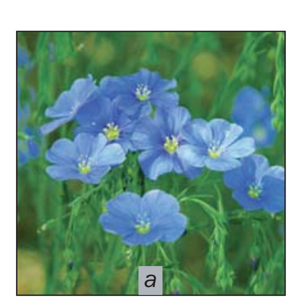
Классификация волокон



Природные волокна. Растительные волокна могут формироваться в стеблях и листьях (конопля, лен), а также семенах (хлопчатник) (рис. 99, *а, б*). Основа этих волокон — целлюлоза.

Животные волокна являются белковыми полимерами. Бóльшую часть шерсти дает овцеводство. Шелк — продукт, выделяемый особыми железами тутового шелкопряда (рис. 99, *в*).

Льняное и хлопковое волокна имеют достаточную термическую устойчивость, хорошие





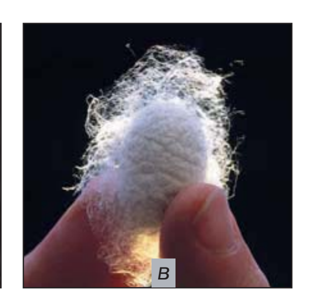
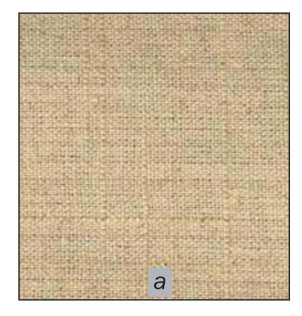
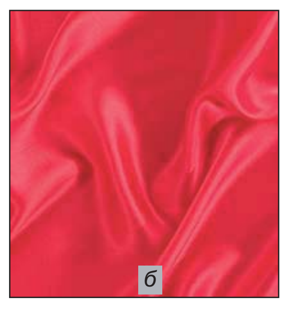


Рис. 99. Лен (*а*), хлопчатник (*б*), кокон шелкопряда (*в*)

механические свойства (рис. 100, *а*). Шерстяное волокно отличается высокой эластичностью, а шелковое — прочностью и характерным блеском (рис. 100, *б*).





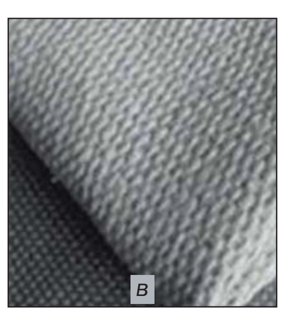


Рис. 100. Ткани из природных волокон: *а* — льняная; *б* — шелковая; *в* — асбестовая

▶ Назовите сферы использования названных природных волокон.

Из минеральных волокон упомянем асбестовое (рис. 100, *в*). Из него изготовляют фильтры, брезент, ткани для защитной одежды, шифер, специальные бумагу и картон, тепло- и электроизоляционные покрытия.

Химические волокна производят из некоторых полимеров линейного строения. Эти полимеры сначала расплавляют или растворяют в органических растворителях, а затем полученную жидкость пропускают через мельчайшие отверстия. При этом образуются длинные и тонкие нити (рис. 101).



Рис. 101. В цеху по производству волокон

Различают искусственные и синтетические химические волокна.

Искусственные волокна получают из природных полимеров, обычно — целлюлозы. Они имеют некоторые преимущества, касающиеся технологии и качества изделий из них.

Важнейшими искусственными волокнами являются *вискозное* и *ацетатное* (рис. 102). Основу вискозного волокна составляет целлюлоза, ацетатного — ее ацетатные эстеры.




Рис. 102. Искусственные волокна: *а* — вискозное; *б* — ацетатное

Синтетические волокна производят из органических соединений, осуществляя химические реакции. К таким волокнам относятся полипропиленовое, поливинилхлоридное, полиэстерные и др. Они превосходят природные волокна по прочности, эластичности, долговечности, не разрушаются микроорганизмами. Недостатки синтетических волокон — низкая гигроскопичность, электризуемость. С целью их преодоления к синтетическим волокнам добавляют природные, а также вещества-антистатики.

Лавсан — полиэстерное волокно. Оно напоминает шерсть, но является более прочным (рис. 103). Изделия из этого волокна не требуют глаженья.

Лавсан термостоек, плохо загорается, не обугливается, не растворяется в органических растворителях, но разрушается кислотами и щелочами. Нити из этого волокна (рис. 104) имеют низкую гигроскопичность. Поэтому их часто используют в сочетании с хлопковыми, льняными или шерстяными нитями.





Рис. 103.
Ткани
из лавсана

Рис. 104.
Нити и галстуки
из полиэстера

Полиэстерное волокно применяют для изготовления бензино- и нефтеустойчивых шлангов, канатов, рыболовных тралов, электроизоляционных материалов, парусов, декоративных тканей, искусственного меха, одеял, а также в производстве шин.

Капрон и *найлон* — *полиамидные волокна*. Они имеют высокую прочность, выдерживают низкие температуры, химически устойчивы (разрушаются лишь концентрированными неорганическими кислотами), легко окрашиваются. Капроновые нити используют для изготовления канатов, рыболовных сетей, различных тканей (рис. 105). Найлоновое волокно добавляют к другим волокнам; его применяют в производстве ковролина, одежды.




Рис. 105.
Нити и ткань
из капрона

ВЫВОДЫ

Волокна — длинные гибкие нити, которые имеют полимерную основу и используются для

изготовления пряжи и разнообразных текстильных изделий.

Различают природные (натуральные) и химические волокна. Основой растительных волокон является целлюлоза, а животные волокна имеют белковое происхождение. Химические волокна (искусственные, синтетические) производят из полимеров линейного строения.

Волокна используются в производстве тканей различного назначения, канатов, технических материалов.



248. Назовите важнейшие природные волокна.
249. Какие преимущества и недостатки имеют синтетические волокна по сравнению с природными?
250. Расшифруйте обозначения на ярлыке к спортивной куртке (рис. 106). Используйте сведения, приведенные в тексте под заголовком «Глаженье тканей», а также информацию из интернета.

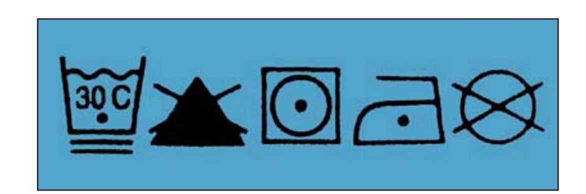


Рис. 106. Обозначения по уходу за тканью

ДЛЯ ЛЮБОЗНАТЕЛЬНЫХ

Глаженье тканей

Вам известно, что натуральные и синтетические волокна имеют различную термическую устойчивость. Перед глаженьем ткани специальным регулятором устанавливают максимальную температуру утюга, при которой волокно еще не разрушается (соответствующее вещество не разлагается, не плавится, не загорается). Синтетические волокна не являются термостойкими. Поэтому ткани из них либо не гладят, либо гладят при минимальной температуре утюга (до 120 °C). На такой режим глаженья указывает точка на контуре утюга, изображенном на ярлыке к ткани. Шелк и шерсть выдерживают температуру до 160 °C (две точки на изображении утюга).

Наиболее термостойкими являются льняное и хлопковое волокна. При глаженьи тканей из этих волокон температура может превышать 160 °С (три точки на утюге).

ДЛЯ ЛЮБОЗНАТЕЛЬНЫХ

Оптические волокна

Среди новейших материалов особое место занимают волокна с высокой прозрачностью, способные «транспортировать» световые лучи на большие расстояния благодаря явлению полного внутреннего отражения. Это — оптические волокна (рис. 107). Их производят из кварца, специального стекла (фторидного, фосфатного), некоторых органических полимеров. Сферы применения таких волокон разнообразны. Волоконно-оптическая связь по скорости и объему передаваемой информации намного превосходит электронную связь. Использование оптических волокон в медицине позволяет проникать в любые участки организма без хирургического вмешательства, наблюдать на экране монитора за процессами, происходящими во внутренних органах. Оптические волокна служат основой датчиков для измерения физических параметров в различных средах. Их также применяют для декоративного освещения.

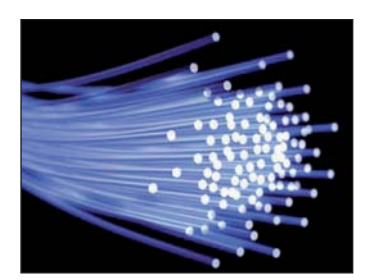


Рис. 107. **Оптическое волокно**

6 раздел

Взаимопревращения органических веществ. Органические соединения в жизни человека и общества

Органические соединения объединяет многое — состав, строение, свойства. Поэтому не удивительно, что между этими соединениями существуют взаимосвязи, и они участвуют в различных взаимопревращениях.

Мир органических веществ неразрывно связан с каждым из нас. В нем имеется немало веществ, необходимых живым организмам. Все больше органических соединений и материалов на их основе мы используем в повседневной жизни. Достижения в области органической химии в значительной мере обеспечивают развитие общества, помогают решать глобальные проблемы цивилизации.

35 Взаимосвязи между органическими веществами

Материал параграфа поможет вам:

- систематизировать свои знания о составе органических веществ;
- обобщить сведения о взаимопревращениях органических соединений различных классов.

Это интересно
В молекулах металлоорганических соединений имеются ковалентные связи между атомами Карбона и металлических элементов.

Состав органических соединений. Вам хорошо известно, что любое органическое вещество является соединением Карбона. Простейшими по качественному составу являются углеводороды; это соединения Карбона с Гидрогеном. Оксигенсодержащие органические вещества — спирты, альдегиды, карбоновые кислоты, углеводы, жиры — образованы тремя элементами. В их молекулах, кроме атомов Карбона и Гидрогена, имеются атомы Оксигена. Амины — соединения Карбона, Гидрогена и Нитрогена, а в молекулах аминокислот и белков есть также атомы Оксигена, Сульфура.

Углеводороды называют родоначальниками органических соединений. Если атом Гидрогена в молекуле углеводорода заменить на характеристическую группу атомов — гидроксильную, альдегидную, карбоксильную или аминогруппу, получим молекулу спирта, альдегида, карбоновой кислоты или амина:

$$CH_3{-}CH_2OH \leftarrow CH_3{-}CH_2H \rightarrow CH_3{-}CH_2CHO$$

$$CH_3{-}CH_2COOH \leftarrow CH_3{-}CH_2H \rightarrow CH_3{-}CH_2NH_2$$

Возможны замены нескольких атомов Гидрогена на такое же количество характеристических групп.

▶ Назовите насыщенный углеводород, от которого происходит глицерол. Сравните состав молекул этих веществ.

Органические соединения делят на классы. Каждый класс соединений состоит из гомологических рядов. Гомологический ряд объединяет большую группу веществ одинакового качественного состава, молекулы которых различаются на одну или несколько групп атомов CH_2. Среди углеводородов выделяют гомологический ряд метана (табл. 1, с. 30), гомологический ряд этена и др. Примеры

соединений, с которых начинается гомологический ряд этина:

$HC{\equiv}CH$ (этин) $HC{\equiv}C{-}CH_3$ (пропин) $HC{\equiv}C{-}CH_2{-}CH_3$. (бут-1-ин)

Существуют вещества, молекулы которых имеют одинаковый качественный и количественный состав, но разное строение. Вы знаете, что такие соединения называют изомерами. В молекулах изомеров насыщенных углеводородов атомы соединены в разной последовательности

$CH_3{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_3$ (*н*-бутан) $CH_3{-}CH(CH_3){-}CH_3$, (изобутан, или метилпропан)

а молекулы ненасыщенных углеводородов могут также различаться положением кратной связи:

$CH_2{=}CH{-}CH_2{-}CH_3$ (бут-1-ен) $CH_3{-}CH{=}CH{-}CH_3$ (бут-2-ен) $CH_2{=}C(CH_3){-}CH_3$ (метилпропен)

Количество изомеров среди оксигенсодержащих и нитрогенсодержащих органических веществ возрастает в связи с различным расположением характеристических групп в молекулах.

▶ Изобразите структурные формулы молекул изомерных пропанолов.

Все изложенное доказывает, что в мире органических соединений существуют взаимосвязи, основанные на происхождении соединений разных классов от углеводородов. Эти связи также проявляются между веществами в пределах каждого класса — гомологами, изомерами.

Взаимопревращения органических соединений. Изучая химические свойства органических веществ, вы узнали о характерных реакциях с их участием, особенностях протекания таких превращений.

Из насыщенных углеводородов получают ненасыщенные — алкены, алкины.

▶ Назовите продукты дегидрирования этана.

Ненасыщенный углеводород может вступать в реакцию с водородом; при этом из алкина образуется алкен, а из алкена — алкан:

$$CH{\equiv}C{-}CH_3 + H_2 \xrightarrow{k,\,t} CH_2{=}CH{-}CH_3;$$

$$CH_2{=}CH{-}CH_3 + H_2 \xrightarrow{k,\,t} CH_3{-}CH_2{-}CH_3.$$

Аналогичные превращения свойственны другим ненасыщенным веществам, в частности, карбоновым кислотам с двойной связью в молекуле.

Из углеводородов можно получать оксигенсодержащие органические соединения. Например, алкены взаимодействуют с водой с образованием спиртов.

▶ Напишите уравнение реакции гидратации бут-2-ена.

Вам известны взаимопревращения оксигенсодержащих соединений различных классов. Так, продуктом частичного окисления спирта является альдегид, а окислением альдегидов получают карбоновые кислоты:

$$\text{спирт} \xrightarrow{[O]} \text{альдегид} \xrightarrow{[O]} \text{карбоновая кислота}.$$

С другой стороны, восстановлением альдегида можно получить спирт (реакция происходит при нагревании и наличии катализатора).

▶ Составьте схему восстановления этаналя водородом.

Взаимодействием спиртов с карбоновыми кислотами получают эстеры:

$$ROH + R'COOH \rightarrow RCOOR' + H_2O.$$

Это — реакция эстерификации. Она является обратимой; в определенных условиях эстер реагирует с водой с образованием спирта и

кислоты — происходит гидролиз эстера. Жиры при нагревании и повышенном давлении либо при наличии катализаторов также подвергаются гидролизу; при этом образуются трехáтомный спирт глицерол и высшие карбоновые кислоты[1] (с. 138).

Взаимопревращения возможны и среди углеводов. В определенных условиях из полисахарида (крахмала, целлюлозы) или дисахарида (сахарозы) можно получить моносахарид (глюкозу, фруктозу):

$$\underset{\text{крахмал}}{(C_6H_{10}O_5)_n} + nH_2O \xrightarrow{k \text{ или } t,\ H_2SO_4} \underset{\text{глюкоза}}{nC_6H_{12}O_6}.$$

При участии ферментов или микроорганизмов происходит брожение углеводов. Продуктами этих реакций являются органические вещества других классов — спирты, карбоновые кислоты (§ 23).

Нитрогенсодержащие органические соединения также способны ко взаимопревращениям. Белки расщепляются в живых организмах на аминокислоты, а аминокислоты взаимодействуют между собой с образованием других белков.

Это интересно
Необычный пример изомеризации — превращение неорганического вещества (аммоний цианата) в органическое (мочевину): $NH_4NCO \rightarrow$ $\rightarrow CO(NH_2)_2$.

Существуют превращения органических веществ, при которых их качественный (элементный) и количественный состав не изменяется. Это — реакции изомеризации и полимеризации.

▶ Напишите уравнение реакции превращения *н*-бутана в изобутан.

С помощью реакций полимеризации из этена, других ненасыщенных органических соединений получают полимеры и каучуки (§ 31, 33). Можно осуществить и обратные реакции: при нагревании полимеров в отсутствие воздуха образуются мономеры (§ 30, 33).

---

[1] В щелочной среде — их соли.

Некоторые органические вещества, молекулы которых содержат характеристические группы, вступают в реакции поликонденсации (§ 31). Продукт такой реакции — полимер, суммарная масса макромолекул которого меньше суммарной массы молекул соответствующего мономера.

Реакцией поликонденсации получают капрон. Упрощенная схема этого процесса:

$$nH_2N{-}(CH_2)_5{-}COOH \xrightarrow[-nH_2O]{} ({-}HN{-}(CH_2)_5{-}CO{-})_n.$$

ε-аминокапроновая кислота — *капрон*

Таким образом, способность одних органических веществ превращаться в другие является дополнительным подтверждением существования взаимосвязей между ними.

ВЫВОДЫ

Органические соединения различных классов происходят от углеводородов. Их химические формулы можно вывести, заменяя атомы Гидрогена в молекулах углеводородов на характеристические группы атомов. Взаимосвязи между органическими веществами обусловлены существованием их классов, гомологических рядов, соединений-изомеров.

Известно много взаимопревращений органических веществ. Среди них — реакции присоединения с участием ненасыщенных веществ, а также реакции замещения, изомеризации, гидролиза, окисления и восстановления, полимеризации и поликонденсации.

?

251. Почему считается, что углеводороды составляют фундамент органической химии?
252. Частицами какого типа образовано большинство органических веществ? Какие органические вещества состоят из других частиц?

253. Попробуйте дать определения:
   а) одноáтомного спирта и фенола как соединений, происходящих от воды;
   б) аминокислот как соединений, происходящих от карбоновых кислот.

254. Напишите уравнения нескольких реакций, при которых образуются галогенсодержащие органические соединения: а) из алканов; б) из алкенов.

255. С помощью какой реакции можно: а) алкен превратить в спирт; б) из спирта получить алкен?
Приведите соответствующие химические уравнения с общими формулами органических соединений.

256. Напишите уравнения реакций для таких превращений:
   а) алкан → алкен → алкин → арен;
   б) спирт → альдегид → кислота → эстер;
   в) аминокислота → дипептид;
   г) дисахарид → моносахарид → спирт;
   д) полисахарид → моносахарид;
   е) полимер → мономер;
   ж) мономер → полимер (каучук).

257. При взаимодействии соединений Al_4C_3 и CaC_2 с водой образуются соответственно метан и этин. Составьте химические уравнения.

258. Сколько углеводородов имеют относительную плотность по водороду 29? Назовите каждое соединение и изобразите структурную формулу его молекулы.

259. Выведите формулу одноосно́вной насыщенной карбоновой кислоты и назовите вещество, если массовая доля Гидрогена в кислоте равна 8,1 %.

260. При взаимодействии 20 г фенола, содержавшего примесь бензена, с избытком бромной воды образовалось 66,2 г галогенсодержащего органического соединения. Вычислите массовую долю ароматического углеводорода в феноле.

36 Биологически активные вещества

Материал параграфа поможет вам:

- узнать о том, какие вещества называют биологически активными;

- получить информацию о видах витаминов и их источниках;
- понять роль витаминов и ферментов в организме.

Наш организм испытывает потребность не только в белках, жирах, углеводах. Существуют другие органические вещества, необходимые организму; их называют *биологически активными*.

Биологически активные вещества — это вещества, активно влияющие на разнообразные процессы в живых организмах.

К важнейшим веществам этого типа относятся витамины, ферменты, антибиотики, алкалоиды, гормоны. Эти соединения вначале были обнаружены в природе (прежде всего, в растениях). Позже большинство таких веществ ученые стали получать в лабораториях.

Биологически активные вещества различаются по составу и строению молекул. Среди них много нитрогенсодержащих соединений. В их молекулах имеются циклы, в которые, кроме атомов Карбона, входят атомы Нитрогена, Оксигена.

Биологически активные вещества являются компонентами многих лекарственных препаратов.

Витамины. Человеку для обеспечения нормальной жизнедеятельности кроме воды, белков, жиров, углеводов, солей, необходимы витамины[1].

Витамины — органические вещества, необходимые живым организмам в незначительном количестве для осуществления важных биохимических и физиологических процессов.

---

[1] Слово происходит от латинского vita — жизнь и названия класса органических соединений *амины*, к которому относится немало витаминов.

Молекулы витаминов являются «поставщиками» групп атомов, из которых в организме образуются молекулы ферментов (с. 226).

Витамины содержатся в пищевых продуктах растительного (рис. 108) и животного происхождения. Некоторые из них образуются в организмах человека и животных, но в недостаточном количестве.



Рис. 108. **Овощи и фрукты — источники витаминов**

Суточная потребность человека в витаминах составляет от нескольких микрограммов до нескольких миллиграммов, а в витамине С — 50—60 мг.

Витамины имеют сложные формулы и названия. Их принято обозначать большими латинскими буквами (А, В, С и др.), иногда — с нижними числовыми индексами. Одну и ту же букву используют для обозначения витаминов, сходных по составу и функциям, которые они выполняют в организме.

Витамины делят на водорастворимые и жирорастворимые. Последние растворяются во многих органических растворителях, но не растворяются в воде. Потребность организма в жирорастворимых витаминах намного меньше (до 1 мг в сутки), чем в водорастворимых. От растворимости витаминов зависит процесс их усвоения организмом.

Водорастворимые витамины. Витамин С (аскорбиновая кислота) — один из важнейших витаминов. Его химическая формула — $C_6H_8O_6$ (рис. 109). Это белое кристаллическое вещество, имеющее кислый вкус, растворимое в воде, спирте.



Рис. 109. Модель молекулы аскорбиновой кислоты

Аскорбиновая кислота увеличивает сопротивляемость организма различным инфекциям. Отсутствие витамина С в пище служит причиной болезни, называемой цингой; ее характерный признак — ослабевают и начинают кровоточить десны.

Витамин С содержится в шиповнике (приблизительно 1,5 г на 100 г сухих плодов), орехах (1,2 г), черной смородине (0,3 г), сладком перце (в красном — 0,25 г), хрене, цитрусовых и др.

Группа витаминов В насчитывает несколько соединений. Витамины B_1, B_2, B_6 и B_{12} укрепляют нервную и сердечно-сосудистую системы, способствуют выделению энергии при переваривании пищи, активизируют работу мышц, регулируют окислительно-восстановительные процессы в организме. Отсутствие этих витаминов вызывает остановку развития организма, а недостаток — нарушение зрения, заболевания кожи и слизистых оболочек.

Это интересно
Витамин B_{12} содержит металлический элемент Кобальт.

Витамин B_5 (или РР) — общее обозначение двух похожих по составу соединений. Этот витамин укрепляет нервную систему, поддерживает деятельность щитовидной железы, улучшает память, играет важную роль в окислительно-восстановительных процессах в клетках.

Витамины группы В содержатся в отрубях, дрожжах, хлебе, крупах, орехах, бобах, молоке, яйцах, печени, некоторых овощах, фруктах, ягодах.

Жирорастворимые витамины. Витамин А (ретинол) имеет формулу $C_{20}H_{29}OH$ и является ненасыщенным одноа́томным спиртом. Он способствует нормальному развитию организма, особенно молодого, увеличивает его устойчивость к инфекционным болезням, поддерживает зрение. Недостаток этого витамина вызывает «куриную слепоту» — расстройство зрения при слабом освещении. Ретинол или его эстеры содержатся только в продуктах животного происхождения — рыбьем жире, печени (в частности тресковой), яичном желтке, молоке.

Витамин D существует в двух формах — D_2 и D_3. Обе формы образуются под действием солнечного света: D_2 — в растениях, D_3 — в коже человека. Они регулируют усвоение организмом Кальция и Фосфора, способствуют образованию костей и предотвращают возникновение рахита. Эти витамины содержатся в яичном желтке, печени, молочных продуктах.

К жирорастворимым витаминам также относятся витамины групп E, K, витамин F.

Известны вещества, которые в организмах животных и человека превращаются в витамины. Их называют провитаминами. Среди этих веществ — каротин; он содержится в моркови, тыкве, помидорах, некоторых фруктах, ягодах и обуславливает их оранжевую или красную окраску. В организме из каждой молекулы каротина образуются две молекулы витамина А.

Получение и применение витаминов. Витамины получают с помощью химических реакций, микробиологическим синтезом, а некоторые — из природного сырья.

Фармацевтические предприятия выпускают лекарственные препараты, общее название которых — поливитамины. Простейшие из них содержат витамины А, В и С, а также глюкозу, сахар, крахмал, пищевые красители. Одна или

несколько таблеток либо капсул удовлетворяют суточную потребность человека в соответствующих витаминах. Хорошо известны отечественные поливитаминные препараты «Ревит», «Гексавит», «Декамевит» (рис. 110).



Рис. 110. Витаминные препараты

Некоторые витамины, прежде всего аскорбиновую кислоту, используют в качестве добавок к напиткам, сладостям, пищевым продуктам для детей.

Витамины, как и другие органические вещества, разлагаются при нагревании. Поэтому, готовя пищу, необходимо соблюдать определенный температурный режим и оптимальную продолжительность процесса.

При существенном недостатке любого витамина (такое состояние организма называется авитаминозом[1]) возникают и развиваются многие болезни. Употребление витаминов в чрезмерных количествах приводит к гипервитаминозу[2], последствия которого также являются негативными.

Витамины необходимы не только человеку. В корм для сельскохозяйственных животных добавляют те из них, которые почти отсутствуют в растениях, — витамины A, B_{12}, D, E.

Ферменты — группа веществ преимущественно белковой природы, которые выполняют роль катализаторов биохимических реак-

---

[1] Греческое *а*... — начальная часть слова, означающая отрицание.
[2] Термин происходит от греческого слова hyper — над, сверх.

ций в организмах. Эти вещества также называют энзимами. Энзимология — наука о ферментах, одна из областей биохимии.

Функцию фермента можно упрощенно объяснить так: сначала молекулы органического вещества соединяются с ним, затем продукт этой реакции взаимодействует с другим веществом, а фермент «высвобождается».

Известно свыше двух тысяч ферментов. Они образуются в растениях, организмах животных и человека. Одни ферменты ускоряют синтез белков из аминокислот, другие (протеазы[1]) обеспечивают противоположный процесс — расщепление белков на аминокислоты. Липазы являются катализаторами гидролиза жиров — превращения их в глицерол и жирные кислоты. Амилаза способствует расщеплению молекул крахмала на молекулы простых углеводов (моносахаридов). При недостатке ферментов в организме врачи рекомендуют принимать ферментные препараты.

Ферменты участвуют в процессах брожения, которые являются основой производства вина, пива, уксуса, кисломолочных продуктов, квашения овощей (рис. 111). Дрожжи, благодаря наличию в них ферментов, используют при выпечке хлеба (рис. 111), изготовлении различных мучных изделий.

На свойства ферментов влияют внешние условия. При незначительном повышении



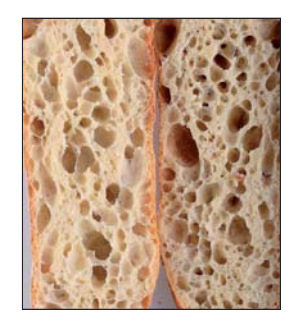


Рис. 111. **Результаты «работы» ферментов**

---

[1] Названия многих ферментов имеют окончание -*аза*.

температуры ферменты разрушаются и теряют каталитическую активность.

Ферменты получают из животного и растительного сырья, микроорганизмов, биологических жидкостей (например, крови).

Антибиотики[1] *— вещества, вырабатываемые некоторыми микроорганизмами (плесенью, бактериями, грибками), растениями и обладающие антибактериальным и антивирусным действием. Для проявления этих свойств достаточно очень малой концентрации антибиотика, например, 1 мг на 100 кг массы среды, в которой он действует.*

Первым антибиотиком, который начали использовать в медицине, был пенициллин — вещество, вырабатываемое некоторыми видами плесени. Начиная с 40-х гг. XX в., этот антибиотик применяли при лечении туберкулеза, пневмонии, других болезней. Позднее были найдены эффективные заменители пенициллина — тетрациклин, стрептомицин, левомицетин.

Бактерии под действием антибиотиков постепенно изменяются и становятся менее чувствительными к ним. Увеличение доз этих веществ отрицательно сказывается на организме человека; возникают аллергии, ослабевает иммунная система. Поэтому актуальным является поиск новых антибиотиков, изучение их влияния не только на вредные микроорганизмы, но и на человека.

Большинство антибиотиков получают с помощью химических реакций.

ВЫВОДЫ

Биологически активные вещества — вещества, влияющие на различные процессы в живых организмах. К ним относятся витамины,

[1] Термин происходит от греческих приставки *anti-* и слова bios — жизнь.

ферменты, антибиотики, некоторые другие группы органических веществ.

Витамины необходимы организму в незначительном количестве для осуществления биохимических и физиологических процессов. Различают водорастворимые и жирорастворимые витамины. Большинство из них поступает в организм с пищей.

Ферменты являются катализаторами многих процессов, протекающих в организме.

?

261. Какие группы органических веществ называют биологически активными?
262. Какое значение имеют витамины для человека?
263. Назовите несколько водорастворимых и жирорастворимых витаминов.
264. Вычислите относительную молекулярную массу витамина B_2, если его молекула содержит четыре атома Нитрогена, а массовая доля этого элемента в витамине равна 14,9 %.
265. Какую функцию выполняют ферменты в организме?

ДЛЯ ЛЮБОЗНАТЕЛЬНЫХ

Алкалоиды

Каждый день мы пьем чай, а часто — и кофе. В этих популярных напитках содержится биологически активное вещество, название которого — *кофеин*. Массовая доля соединения в чайном листе может достигать 5 %, а в кофейных зернах — 1,5 % (рис. 112). Кофеин есть и в орехах кола; их используют в производстве напитка «кока-кола».

Кофеин — твердое вещество, растворимое в воде. После чашки кофе или крепкого чая человек ощущает прилив бодрости, повышение умственной и физической активности. Так действует небольшое количество кофеина на организм. Это соединение является компонентом некоторых лекарственных препаратов.

В шоколаде, чайном листе находится другое биологически активное вещество — *теобромин*. Как и кофеин, это соединение активизирует деятельность организма, обладает сосудорасширяющим, спазмолитическим действием. Массовая доля теобромина в бобах какао не превышает 2 %.



Рис. 112. **Источники кофеина**

Кофеин и теобромин входят в группу веществ с общим названием *алкалоиды*[1]. Это — нитрогенсодержащие органические соединения, активно влияющие на биологические процессы.

Известны несколько тысяч алкалоидов. Они содержатся в семенах, плодах, коре, листьях, корнях некоторых растений. В молекулах простейших алкалоидов есть циклические фрагменты, состоящие из атомов Карбона и Нитрогена.

К алкалоидам относится и ядовитое вещество — *никотин*. Небольшое количество этого соединения, попадая в легкие, вызывает у человека возбуждение. Курение наносит серьезный вред организму, приводит к различным заболеваниям, прежде всего, онкологическим, легочным, сердечно-сосудистым.

37 Роль органической химии в решении глобальных проблем человечества, создании новых материалов

Материал параграфа поможет вам:

- понять роль органической химии в сфере переработки сырья;

[1] Термин происходит от арабского слова *аль-кали* — щелочь и греческого eidos — вид. Алкалоиды, как и амины, проявляют осно́вные свойства.

- узнать о биотехнологиях;
- оценить значение органической химии в решении энергетической и продовольственной проблем, охране здоровья человека, создании новых материалов.

Химические реакции с участием органических веществ составляют основу многих технологических процессов. Их осуществляют в нефтеперерабатывающей промышленности, производстве метанола, этанола, уксусной кислоты, других органических соединений. Превращения органических веществ происходят на предприятиях легкой и пищевой промышленности.

Органическая химия и переработка сырья. В различных технологиях используется много органических соединений. Исходными веществами в химических производствах часто являются углеводороды. Их запасы в природе ограничены и не восстанавливаются. Поэтому такое сырье обычно используют экономно и перерабатывают с наибольшим выходом полезных веществ, применяя оптимальные режимы проведения реакций. Разработка эффективных технологических процессов является одной из основных задач, которые решают химики вместе с другими специалистами.

Это интересно
В соответствии с прогнозами, разведанных запасов нефти и газа хватит человечеству на 50 лет.

Ныне переработка нефти заключается не только в ее перегонке. Высокотемпературные фракции — керосин, газойль, мазут — подвергают сильному нагреванию при повышенном давлении, наличии катализаторов; названия соответствующих процессов — крекинг, риформинг. В таких условиях разрываются химические связи в карбоновых цепях молекул углеводородов и образуются новые молекулы. Вследствие этого возрастает выход бензина, повышается его качество.

Любое производство невозможно без отходов. Их переработка должна быть обязательной, комплексной и максимально полной с одно-

временным обезвреживанием токсичных веществ. Отходы, которые используются или перерабатываются, называют вторичными ресурсами. Очень актуальной является переработка использованных изделий из полимеров и пластмасс (рис. 113), в результате которой снова получают полимеры.



Рис. 113. Пластмассовые емкости перед утилизацией

Органическая химия и энергетическая проблема. Природный газ и продукты нефтепереработки являются традиционным сырьем для мировой энергетики. Запасы нефти и газа на планете уменьшаются. Поэтому наряду с поиском новых источников получения энергии активно привлекается в энергетическую сферу уголь, которого в недрах Земли значительно больше.

Это интересно
На уголь приходится около 80 % массы всех горючих ископаемых.

Часть угля с помощью химических реакций превращают в смеси горючих газов. В специальных установках на уголь действуют при высокой температуре ограниченным количеством воздуха, водяным паром, углекислым газом. Образующиеся газовые смеси содержат карбон(II) оксид, водород, метан. Они как вид топлива имеют существенные преимущества перед углем. В мире используют также технологии превращения угля под действием водорода в жидкое горючее. Расширяется использование горючих сланцев как энергетического сырья. Из сланцев по соответствующей технологии получают сланцевый газ.

Органическая химия и продовольственная проблема. Рост численности населения на планете требует увеличения производства пищевых продуктов. Однако многие страны, преимущественно малоразвитые, ощущают их недостаток. Почва со временем теряет плодородие, сельскохозяйственные растения все чаще поражаются болезнями и вредителями.

Среди мероприятий, направленных на решение продовольственной проблемы, — использование средств защиты растений от болезней и вредителей — пестицидов, фунгицидов (рис. 114), а также стимуляторов роста растений. Это, как правило, — определенные органические соединения или их смеси. Повышению производительности животноводства способствуют белковые кормовые добавки.



Рис. 114. Химические средства защиты растений

Пищевые продукты недостаточно производить в необходимом количестве. Важно также обеспечить их хранение. Ученые, работающие в области органической химии, ведут поиск эффективных и вместе с тем безопасных консервантов, стабилизаторов, эмульгаторов, а технологи и инженеры обеспечивают их производство.

Биотехнологии. В последнее время в промышленность и другие сферы производства внедряются технологии, которые существенным образом отличаются от традиционных. Особое место среди них занимают *биотехнологии* — процессы превращения органиче-

ских веществ с участием микроорганизмов или продуктов их жизнедеятельности.

Одной из первых биотехнологий, примененных человеком, был процесс изготовления вина из соков винограда, других ягод и фруктов. Вам известно, что брожение углеводов с образованием этанола вызывают дрожжи, имеющиеся на поверхности плодов. При участии других микроорганизмов скисает молоко вследствие молочнокислого брожения. Эти процессы ныне широко используются в пищевой промышленности.

Растения — возобновляемый природный ресурс. С привлечением биотехнологий все больше такого сырья, а также отходов земледелия перерабатывается на смеси горючих газов — так называемый биогаз (рис. 115).



Рис. 115. Производство биогаза

С биотехнологиями связано производство медицинских препаратов для профилактики и лечения инфекционных и других болезней. В области охраны окружающей среды используется способность определенных бактерий и микроорганизмов разлагать нефть, нефтепродукты, токсичные соединения в промышленных и бытовых сточных водах. Достижения биотехнологий мы применяем и в быту. Например, современные стиральные порошки содержат биодобавки, способные разлагать органические загрязнения на тканях.

Биотехнологии экономически выгодны и экологически безопасны. Однако их разработка предусматривает проведение длительных и

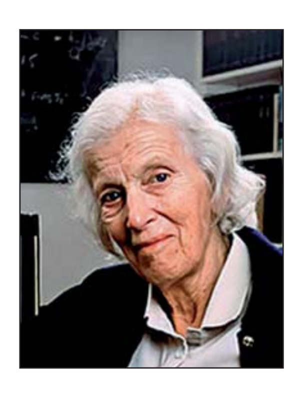
сложных экспериментов, поскольку процессы, в которых принимают участие микроорганизмы, протекают достаточно медленно.

Наиболее перспективным для Украины является применение биотехнологий в сельском хозяйстве и медицине, а также производство биотоплива. Специалистов соответствующей квалификации готовят высшие учебные заведения.

Органическая химия и здоровье человека. Преобладающее большинство лекарственных средств является органическими соединениями. За последние десятилетия заметно выросло количество медицинских препаратов, которые дают возможность побеждать болезни, в частности те, которые ранее считались неизлечимыми. Ученые, имея информацию о группах атомов, содержащихся в молекулах органических веществ и обуславливающих их биологическую активность, синтезируют новые соединения. Биологи и медики после тщательных исследований определяют, какие из них являются наиболее эффективными с целью дальнейшего использования в лечебной практике. Весомые результаты в исследовании строения биологически активных веществ принадлежат нобелевскому лауреату Дороти Кроуфут-Ходжкин.

Органическая химия и создание новых материалов. Развитие современной техники, производство компьютеров, средств связи и записи информации, создание космических аппаратов, строительство невозможны без использования новых материалов с необходимыми механическими и физическими свойствами, высокой термо- и морозостойкостью (рис. 116). Изобретенные химиками пластмассы все чаще заменяют стекло, металлы, керамику. Будучи легкими, прочными, они не подвергаются коррозии; их легко обрабатывать, придавать им определенную форму.

Дороти Мэри Кроуфут-Ходжкин (1910—1994)



Английский химик и биохимик, член Лондонского королевского общества. Занималась исследованием структуры аминокислот, пептидов. Осуществила рентгеноструктурный анализ пенициллина, витамина B_{12}, изучала гемоглобин, другие белки, содержащиеся в крови. Установила пространственное строение молекулы инсулина, состоящей почти из 800 атомов. Выступала во многих странах с лекциями о важности этого препарата для больных диабетом. Возглавляла антивоенное Пагуошское движение ученых. Член академий наук многих стран. Лауреат Нобелевской премии по химии (1964).



Рис. 116. Изделия из сверхустойчивого полимера — тефлона

Синтетические волокна имеют много преимуществ по сравнению с природными. Благодаря их механическим свойствам и химической устойчивости, эти волокна с успехом используют в легкой промышленности (производство обуви, одежды, спортивного снаряжения), транспортной сфере, научном и медицинском оборудовании, военной технике. Оптические волокна на основе органических полимеров стали незаменимыми в системах передачи информации, приборах медицинской диагностики.

Материал, изложенный в параграфе, доказывает, что развитие общества без внедрения

достижений органической химии и технологии органических веществ невозможно.

ВЫВОДЫ

Исследования в области органической химии позволяют совершенствовать процессы переработки нефти, природного газа, угля. Расширяется сфера использования биотехнологий — процессов превращения растительного сырья при участии микроорганизмов.

Сельское хозяйство располагает многочисленными средствами защиты растений, которые способствуют росту продовольственных ресурсов.

Химики синтезируют новые биологически активные органические соединения, проявляющие высокую эффективность в лечении многих болезней.

Благодаря достижениям ученых, исследующих полимеры, создаются новые материалы с заданными свойствами, которые постепенно заменяют традиционные.

?

266. Назовите как можно больше видов природного сырья, из которого получают органические вещества.
267. Какие требования, по вашему мнению, должны предъявляться к материалам на основе органических веществ, используемым:
   а) в космической технике;
   б) на морских судах?
268. Представьте ситуацию, когда запасы нефти на Земле почти исчерпались. Какими могут быть действия развитых стран с приближением такого кризиса?
269. Какой рецепт приготовления теста для пирога, блинов, других мучных изделий можно считать биотехнологией?
270. Как, используя химические реакции, можно удалить примесь фенола из газовых выбросов химического предприятия, состоящих из азота, кислорода и водяного пара?

Послесловие

В этом учебном году продолжалось ваше ознакомление с важнейшими органическими веществами. Вы расширили свои знания об углеводородах — родоначальниках других органических соединений, а также о спиртах, карбоновых кислотах, углеводах, узнали об альдегидах, эстерах, аминах, ароматических соединениях — бензене и феноле. На уроках и со страниц учебника вы получили информацию об органических полимерах и материалах на их основе, биологически активных веществах. Теперь каждый из вас знает, что органические вещества в значительной степени отличаются от неорганических по составу, строению, свойствам.

Среди органических соединений имеется много таких, которые важны для человека, его здоровья. В живом организме протекает множество химических реакций, при которых органические вещества образуются и взаимодействуют с другими веществами.

Развитие общества невозможно без использования пластмасс, синтетических волокон, эффективных фармацевтических препаратов, средств бытовой химии. Ученые совершенствуют технологические процессы, работают над тем, чтобы достичь более полной переработки природного органического сырья, не загрязняя природу и не причиняя вреда здоровью человека.

Надеемся, что у вас сформировалось представление о разделе химической науки — органической химии, и вы поняли, насколько широкие перспективы открывают перед человечеством достижения в этой области.

Мы уверены, что знания по химии, полученные в 10 классе, пригодятся вам в разных жизненных ситуациях, обогатят вашу эрудицию.

Желаем дальнейших успехов в учебе!

Приложение 1

Химические свойства и способы получения органических соединений

НАСЫЩЕННЫЕ УГЛЕВОДОРОДЫ

АЛКАНЫ

C_nH_{2n+2}

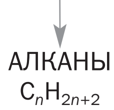
Химические свойства[1]

1. Реакции замещения

$$CH_4 + Cl_2 \xrightarrow{h\nu \text{ или } t} CH_3Cl + HCl.$$

2. Термическое разложение

$$CH_3{-}CH_3 \xrightarrow{t} CH_2{=}CH_2 + H_2; \qquad 2CH_4 \xrightarrow{t} HC{\equiv}CH + 3H_2;$$

$C_6H_{14} \xrightarrow{t,\ k}$  $+ 4H_2;$

$$CH_3{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_3 \xrightarrow{t} CH_3{-}CH_3 + CH_2{=}CH_2.$$

3. Реакции изомеризации

$$CH_3{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_3 \xrightarrow{t,\ p,\ AlCl_3} CH_3{-}\underset{\displaystyle CH_3}{\underset{|}{CH}}{-}CH_3.$$

Получение

В промышленности —

из нефти и газа;

$$nC + (n + 1)H_2 \xrightarrow{t,\ p,\ k} C_nH_{2n+2} \text{ (жидкие)};$$

$$nCO + (2n + 1)H_2 \xrightarrow{t,\ p,\ k} C_nH_{2n+2} + nH_2O.$$

[1] Алканы горят на воздухе с образованием углекислого газа и воды.



Химические свойства

1. Реакции присоединения

$CH_2{=}CH_2 + H_2 \xrightarrow{t,\ k} CH_3{-}CH_3$;

$CH_2{=}CH_2 + Br_2 \rightarrow CH_2Br{-}CH_2Br$;

$CH_2{=}CH{-}CH_3 + HBr \xrightarrow{t}$
$\rightarrow CH_3{-}CHBr{-}CH_3$;

$CH_2{=}CH{-}CH_3 + HOH \xrightarrow{t,\ p,\ k}$
$\rightarrow CH_3{-}CHOH{-}CH_3$.

$CH{\equiv}CH \xrightarrow{+H_2,\ k} CH_2{=}CH_2 \xrightarrow{+H_2,\ k}$
$\rightarrow CH_3{-}CH_3$;

$CH{\equiv}CH \xrightarrow{+Br_2} CHBr{=}CHBr \xrightarrow{+Br_2}$
$\rightarrow CHBr_2{-}CHBr_2$;

$CH{\equiv}CH \xrightarrow{+HCl,\ t,\ k} CH_2{=}CHCl \xrightarrow{+HCl}$
$\rightarrow CH_3{-}CHCl_2$;

$CH{\equiv}CH + H_2O \xrightarrow{t,\ Hg^{2+},\ H^+} CH_3{-}C{\overset{O}{\underset{H}{\lessgtr}}}$.

2. Реакции полимеризации

$nCH_2{=}CH_2 \xrightarrow{t,\ p,\ k} ({-}CH_2{-}CH_2{-})_n$.

Внепрограммный материал

3. Реакции окисления[1]

$CH_2{=}CH_2 \xrightarrow{+[O],\ H_2O} \underset{OH}{CH_2}{-}\underset{OH}{CH_2}$.

$3HC{\equiv}CH + 8KMnO_4 \rightarrow$
$\rightarrow 3KOOC{-}COOK + 8MnO_2 +$
$+ 2KOH + 2H_2O$.

Получение

В промышленности —

из нефти и других природных источников;

$CH_3{-}CH_3 \xrightarrow{t} CH_2{=}CH_2 + H_2$.

В лаборатории —

$CH_3{-}CH_2OH \xrightarrow{t,\ H_2SO_4\ (конц.)}$
$\rightarrow CH_2{=}CH_2\uparrow + H_2O$;

$({-}CH_2{-}CH_2{-})_n \xrightarrow{t} nCH_2{=}CH_2\uparrow$.

В промышленности —

$2CH_4 \xrightarrow{t} C_2H_2 + 3H_2$;

$CaC_2 + 2H_2O \rightarrow C_2H_2\uparrow + Ca(OH)_2$.

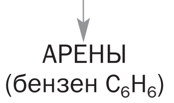
В лаборатории —

$CaC_2 + 2H_2O \rightarrow C_2H_2\uparrow + Ca(OH)_2$.

---

[1] Алкены и алкины горят на воздухе с образованием углекислого газа и воды.

АРОМАТИЧЕСКИЕ УГЛЕВОДОРОДЫ



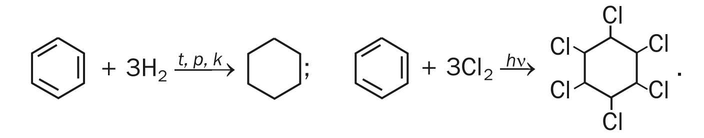
АРЕНЫ
(бензен C_6H_6)

Химические свойства[1]

1. Реакции замещения

$$C_6H_6 + Cl_2 \xrightarrow{t,\ FeCl_3} C_6H_5Cl + HCl.$$

2. Реакции присоединения



Получение

В промышленности —

из нефти и других природных источников;

$$CH_3{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_2{-}CH_3 \xrightarrow{t,\ k} C_6H_6 + 4H_2.$$

ОКСИГЕНСОДЕРЖАЩИЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ



СПИРТЫ $C_nH_{2n+1}OH$, $C_nH_{n+2}(OH)_n$	ФЕНОЛ C_6H_5OH

Химические свойства

1. Реакции с активными металлами

$2C_2H_5OH + 2Na \rightarrow 2C_2H_5ONa + H_2\uparrow$; $2CH_2(OH){-}CH(OH){-}CH_2(OH) + 6Na \rightarrow$ $\rightarrow 2CH_2(ONa){-}CH(ONa){-}CH_2(ONa) + 3H_2\uparrow$.	$2C_6H_5OH + 2Na \rightarrow 2C_6H_5ONa + H_2\uparrow$.

2. Реакции со щелочами

—	$C_6H_5OH + NaOH \rightleftarrows C_6H_5ONa + H_2O$.

[1] Арены горят на воздухе с образованием углекислого газа и воды.

3. Реакции с галогенами

Внепрограммный материал	$C_6H_5OH + 3Br_2$ (водн. р-р) $\rightarrow$ $\rightarrow C_6H_2Br_3OH\downarrow + 3HBr$.

4. Реакции с галогеноводородами

$C_2H_5OH + HBr \rightleftarrows C_2H_5Br + H_2O$.	—

5. Реакции с кислотами

$C_2H_5OH + CH_3COOH \xrightarrow{H_2SO_4\ (конц.)}$ $\rightarrow CH_3COOC_2H_5 + H_2O$.	Внепрограммный материал

6. Реакции дегидратации

межмолекулярной: $2C_2H_5OH \xrightarrow{t,\ H_2SO_4\ (конц.)}$ $\rightarrow C_2H_5{-}O{-}C_2H_5 + H_2O$; внутримолекулярной: $C_2H_5OH \xrightarrow{t,\ H_2SO_4\ (конц.)} CH_2{=}CH_2\uparrow +$ $+ H_2O$.	—

7. Реакции окисления[1]

Первичных спиртов: $CH_3{-}CH_2OH + [O] \xrightarrow{t} CH_3{-}C\begin{smallmatrix}{\nearrow}O\\ \searrow H\end{smallmatrix} + H_2O$.	Внепрограммный материал

8. Реакции с некоторыми гидроксидами, солями

Многоа́томные спирты с двумя соседними OH-группами в молекулах взаимодействуют с купрум(II) гидроксидом с образованием растворимых соединений синего цвета.	Фенол взаимодействует с феррум(III) хлоридом с образованием растворимого соединения фиолетового цвета.

[1] Спирты горят на воздухе с образованием углекислого газа и воды.

Получение

В промышленности —

$CO + 2H_2 \xrightarrow{t, p, k} CH_3OH$;

$CH_2{=}CH_2 + H_2O \xrightarrow{t, p, k} C_2H_5OH$;

$C_6H_{12}O_6 \xrightarrow{ферменты} 2C_2H_5OH + 2CO_2\uparrow$.

В промышленности —

из каменноугольной смолы;
из продуктов переработки нефти — бензена и пропена.

ОКСИГЕНСОДЕРЖАЩИЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ

АЛЬДЕГИДЫ

$C_nH_{2n+1}{-}C{\lt}^{O}_{H}$

КАРБОНОВЫЕ КИСЛОТЫ

$C_nH_{2n+1}{-}C{\lt}^{O}_{OH}$

(одноосно́вные)

Химические свойства[1]

1. Реакции присоединения

$CH_3{-}C{\lt}^{O}_{H} + H_2 \xrightarrow{t, k} CH_3{-}CH_2OH$.

2. Реакции окисления

$CH_3{-}C{\lt}^{O}_{H} \xrightarrow{[O]} CH_3{-}C{\lt}^{O}_{OH}$;

$CH_3{-}C{\lt}^{O}_{H} + Ag_2O + NH_3 \xrightarrow{t, H_2O}$

$\rightarrow CH_3{-}C{\lt}^{O}_{ONH_4} + 2Ag\downarrow$;

$CH_3{-}C{\lt}^{O}_{H} + 2Cu(OH)_2 \xrightarrow{t}$

$\rightarrow CH_3{-}C{\lt}^{O}_{OH} + Cu_2O\downarrow + 2H_2O$.

1. Реакции с металлами

$2CH_3COOH + Mg \rightarrow (CH_3COO)_2Mg + H_2\uparrow$.

2. Реакции с осно́вными оксидами

$2CH_3COOH + BaO \rightarrow$
$\rightarrow (CH_3COO)_2Ba + H_2O$.

3. Реакции с основаниями

$2CH_3COOH + Cu(OH)_2 \rightarrow$
$\rightarrow (CH_3COO)_2Cu + 2H_2O$.

4. Реакции с солями

$2CH_3COOH + CaCO_3 \rightarrow$
$\rightarrow (CH_3COO)_2Ca + CO_2\uparrow + 2H_2O$.

5. Реакции со спиртами

$2CH_3COOH + C_2H_5OH \xrightarrow{H_2SO_4\ (конц.)}$
$\rightarrow CH_3COOC_2H_5 + H_2O$.

6. Реакции окисления метановой кислоты:

$HCOOH + Ag_2O + 2NH_3 \rightarrow 2Ag\downarrow +$
$+ (NH_4)_2CO_3$;
$HCOOH + [O] \rightarrow CO_2\uparrow + H_2O$.

[1] Альдегиды и пары кислот горят на воздухе с образованием углекислого газа и воды.

Получение

В промышленности —

$$CH_2{=}CH_2 + [O] \xrightarrow{k} CH_3-C{\begin{smallmatrix}\diagup\!\!\diagup O\\ \diagdown H\end{smallmatrix}};$$

$$CH_3-CH_2OH + [O] \xrightarrow{k,\ t} CH_3-C{\begin{smallmatrix}\diagup\!\!\diagup O\\ \diagdown H\end{smallmatrix}} + H_2O;$$

$$CH_3-CH_2OH \xrightarrow{k,\ t} CH_3-C{\begin{smallmatrix}\diagup\!\!\diagup O\\ \diagdown H\end{smallmatrix}} + H_2.$$

В лаборатории —

$$CH_3-CH_2OH + [O] \xrightarrow{t} CH_3-C{\begin{smallmatrix}\diagup\!\!\diagup O\\ \diagdown H\end{smallmatrix}} + H_2O.$$

В промышленности —

$$2CH_3-CH_2-CH_2-CH_3 + 5O_2 \xrightarrow{t,\ p,\ k} 4CH_3COOH + 2H_2O;$$

$$2CH_4 + 3O_2 \xrightarrow{t,\ k} 2HCOOH + 2H_2O;$$

$$CH_3-C{\begin{smallmatrix}\diagup\!\!\diagup O\\ \diagdown H\end{smallmatrix}} \xrightarrow{+[O]} CH_3-C{\begin{smallmatrix}\diagup\!\!\diagup O\\ \diagdown OH\end{smallmatrix}};$$

$$CH_3-CH_2OH \xrightarrow[-H_2O]{+[O],\ k,\ t} CH_3-C{\begin{smallmatrix}\diagup\!\!\diagup O\\ \diagdown H\end{smallmatrix}} \xrightarrow{+[O]} CH_3-C{\begin{smallmatrix}\diagup\!\!\diagup O\\ \diagdown OH\end{smallmatrix}}.$$

В лаборатории —

$$2RCOONa + H_2SO_4 \rightarrow 2RCOOH + Na_2SO_4.$$

ОКСИГЕНСОДЕРЖАЩИЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ

ЭСТЕРЫ

$R-C(=O)-O-R'$

$C_nH_{2n+1}-C(=O)-O-C_mH_{2m+1}$

ЖИРЫ

$$\begin{array}{l} CH_2-O-C(=O)-R \\ | \\ CH-O-C(=O)-R' \\ | \\ CH_2-O-C(=O)-R'' \end{array}$$

Химические свойства[1]

Реакции гидролиза

$CH_3-C(=O)-O-CH_3 + H_2O \xrightarrow{H^+ \text{ или } OH^-}$

$\rightarrow CH_3-C(=O)-OH + CH_3OH.$

$$\begin{array}{l} CH_2-O-C(=O)-R \quad H-OH \\ | \\ CH-O-C(=O)-R' \quad + \quad H-OH \xrightarrow{t,\ p \text{ или } k} \\ | \\ CH_2-O-C(=O)-R'' \quad H-OH \end{array}$$

$$\rightarrow \begin{array}{l} CH_2-OH \\ | \\ CH-OH \\ | \\ CH_2-OH \end{array} + \begin{array}{l} R-C(=O)-OH \\ R'-C(=O)-OH. \\ R''-C(=O)-OH \end{array}$$

Получение

В промышленности —

выделяют из природного сырья;

$RCOOH + R'OH \rightarrow R-C(=O)-O-R' + H_2O.$

В лаборатории —

$CH_3-C(=O)-O-H + HO-CH_3 \xrightarrow{H_2SO_4 \text{ (конц.)}}$

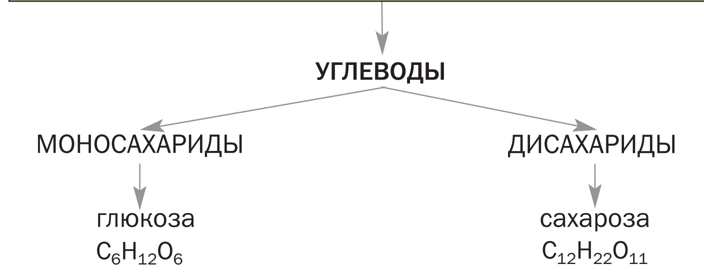
$\rightarrow CH_3-C(=O)-O-CH_3 + H_2O.$

В промышленности —

выделяют из природного сырья.

[1] Эстеры и жиры горят на воздухе с образованием углекислого газа и воды.

ОКСИГЕНСОДЕРЖАЩИЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ



Химические свойства

1. Реакции гидролиза

Моносахариды	Дисахариды
—	$C_{12}H_{22}O_{11} + H_2O \xrightarrow{k \text{ или } t,\ H_2SO_4} C_6H_{12}O_6 + C_6H_{12}O_6$. (глюкоза) (фруктоза)

2. Реакции окисления

Моносахариды	Дисахариды
$CH_2OH{-}(CHOH)_4{-}C\begin{smallmatrix}{\swarrow}O\\ \diagdown H\end{smallmatrix} + Ag_2O + NH_3 \xrightarrow{t,\ H_2O} CH_2OH{-}(CHOH)_4{-}C\begin{smallmatrix}{\swarrow}O\\ \diagdown ONH_4\end{smallmatrix} + 2Ag\downarrow$; $CH_2OH{-}(CHOH)_4{-}C\begin{smallmatrix}{\swarrow}O\\ \diagdown H\end{smallmatrix} + 2Cu(OH)_2 \xrightarrow{t} CH_2OH{-}(CHOH)_4{-}C\begin{smallmatrix}{\swarrow}O\\ \diagdown OH\end{smallmatrix} + Cu_2O + 2H_2O$.	—

3. Реакции восстановления

Моносахариды	Дисахариды
$CH_2OH{-}(CHOH)_4{-}C\begin{smallmatrix}{\swarrow}O\\ \diagdown H\end{smallmatrix} + H_2 \xrightarrow{t,\ k} CH_2OH{-}(CHOH)_4{-}CH_2OH$.	—

4. Реакции брожения

Моносахариды	Дисахариды
спиртовое: $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2C_2H_5OH + 2CO_2\uparrow$; молочнокислое: $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2CH_3{-}\underset{\displaystyle OH}{\underset{\vert}{CH}}{-}COOH$.	—

5. Реакции с некоторыми гидроксидами

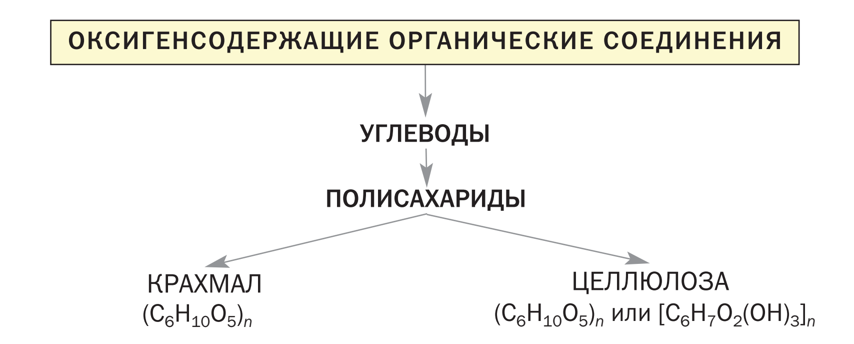
Глюкоза взаимодействует с купрум(II) гидроксидом с образованием растворимого соединения синего цвета.

Сахароза взаимодействует с купрум(II) гидроксидом (продукт реакции — растворимое соединение синего цвета), кальций гидроксидом.

Получение

В промышленности — гидролиз природных соединений — крахмала, сахарозы.

В промышленности — извлечение из растений — сахарной свеклы, сахарного тростника.



Химические свойства[1]

Реакции гидролиза

$(C_6H_{10}O_5)_n + nH_2O \xrightarrow{t,\ H^+} nC_6H_{12}O_6$.

$(C_6H_{10}O_5)_n + nH_2O \xrightarrow{t,\ H^+} nC_6H_{12}O_6$.

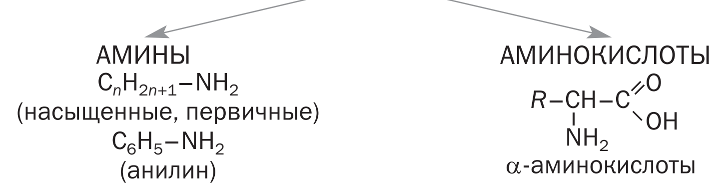
Получение

В промышленности — из картофеля, кукурузы.

В промышленности — из древесины, соломы.

[1] Целлюлоза горит на воздухе с образованием углекислого газа и воды.

НИТРОГЕНСОДЕРЖАЩИЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ



Химические свойства

1. Реакции с водой

Амины	Аминокислоты
$CH_3NH_2 + H_2O \rightleftarrows CH_3NH_3^+ + OH^-$. В водных растворах насыщенных аминов — щелочная среда	В водных растворах α-аминокислот — почти нейтральная среда

2. Реакции с кислотами

Амины	Аминокислоты
$CH_3NH_2 + HCl \rightarrow [CH_3NH_3]Cl$; $C_6H_5NH_2 + HCl \rightarrow [C_6H_5NH_3]Cl$.	$NH_2CH_2COOH + HCl \rightarrow$ $\rightarrow [NH_3CH_2COOH]Cl$.

3. Реакции с основаниями

Амины	Аминокислоты
—	$NH_2CH_2COOH + NaOH \rightarrow$ $\rightarrow NH_2CH_2COONa + H_2O$.

4. Реакции окисления

Амины	Аминокислоты
Анилин легко окисляется на воздухе[1].	—

Амины	Аминокислоты
5. Реакция с бромной водой	**5.** Реакция с купрум(II) гидроксидом
$C_6H_5NH_2 + 3Br_2 \rightarrow C_6H_2Br_3NH_2\downarrow + 3HBr$ (2,4,6-триброманилин)	α-Аминокислота взаимодействует с купрум(II) гидроксидом с образованием растворимого соединения синего цвета.

6. Реакции поликонденсации

Амины	Аминокислоты
—	$nR-CH(NH_2)-COOH \xrightarrow[-nH_2O]{}$ $\rightarrow$ пептиды, белки.

Получение

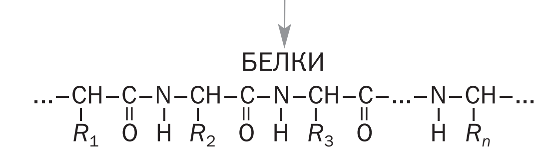
Амины	Аминокислоты
В промышленности — $C_6H_5NO_2 + 3H_2 \xrightarrow{t,\ k} C_6H_5NH_2 + 2H_2O$.	В промышленности и лаборатории — гидролиз белков, микробиологический синтез, синтетические методы.

---

[1] Амины горят на воздухе с образованием углекислого газа, азота и воды.

НИТРОГЕНСОДЕРЖАЩИЕ ОРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ

БЕЛКИ



Химические свойства

1. Реакции гидролиза

белок → полипептиды → дипептиды → аминокислоты.

2. Денатурация

Разрушение пространственной структуры белка под действием кислот, щелочей, некоторых солей и органических растворителей.

3. Реакция с купрум(II) гидроксидом (биуретовая реакция)

Белки взаимодействуют с купрум(II) гидроксидом с образованием растворимых соединений фиолетового цвета.

4. Реакция с нитратной кислотой (ксантопротеиновая реакция)

Белки взаимодействуют с концентрированной нитратной кислотой с образованием нерастворимых веществ желтого цвета.

Получение

В промышленности и лаборатории —

из природного сырья; микробиологический синтез.

Приложение 2

Качественные реакции на некоторые органические соединения

Название или тип соединения	Реагент, условия протекания реакции	Внешний эффект
Алкен	Бромная вода (водный раствор Br_2)	Обесцвечивание бурого раствора
	Водный раствор $KMnO_4$	Обесцвечивание фиолетового раствора и образование бурого осадка MnO_2
Алкин	Бромная вода (водный раствор Br_2)	Обесцвечивание бурого раствора
	Водный раствор $KMnO_4$	Обесцвечивание фиолетового раствора и образование бурого осадка MnO_2
Спирт (однóатомный)	CuO, нагревание	Изменение цвета твердого вещества до темно-красного («медного»), появление нового запаха
Глицерол	$Cu(OH)_2$, без нагревания	Образование синего раствора
Фенол	Бромная вода (водный раствор Br_2)	Обесцвечивание бурого раствора и образование белого осадка
	Водный раствор $FeCl_3$	Раствор окрашивается в фиолетовый цвет
Альдегид	Аммиачный раствор Ag_2O, нагревание	Образование «серебряного зеркала»
	$Cu(OH)_2$, нагревание	Изменение цвета осадка до красного
Метановая кислота	Аммиачный раствор Ag_2O, нагревание	Образование «серебряного зеркала»
	$Cu(OH)_2$, нагревание	Изменение цвета осадка до красного

Этановая кислота, ацетат	Водный раствор $FeCl_3$	Появление темно-красной окраски
Глюкоза	Аммиачный раствор Ag_2O, нагревание	Образование «серебряного зеркала»
	$Cu(OH)_2$, без нагревания	Образование синего раствора
	$Cu(OH)_2$, нагревание	Изменение цвета осадка до красного
Крахмал	Спиртовый раствор I_2	Появление темно-синей окраски
Анилин	Бромная вода (водный раствор Br_2)	Обесцвечивание бурого раствора и образование белого осадка
	Водный раствор хлорной извести либо хлорная вода (водный раствор Cl_2)	Раствор окрашивается в фиолетовый цвет
α-Аминокислота (аминоэтановая)	$Cu(OH)_2$	Образование синего раствора
Белок	$Cu(OH)_2$	Образование фиолетового раствора
	HNO_3 (конц.)	Образование нерастворимых веществ желтого цвета

Ответы к задачам и упражнениям

Раздел 1. Теория строения органических соединений

5. Возможные примеры — метиловый спирт CH_3OH, муравьиная кислота $HCOOH$.

6. В этиловом спирте: $w(C) = 52{,}2\ \%$.

7. ρ(соединения) = 2,946 г/л; D_{H_2}(соединения) = 33.

10. *а, б, в, д, е*.

11. в) да.

12. Связь C–O в молекуле этера, связь O–H в молекуле спирта.

18. $\cdots\overset{\delta-}{O}\leftarrow\overset{\delta+}{H}\cdots\overset{\delta-}{O}\leftarrow\overset{\delta+}{H}\cdots$ (при первом O — CH_3, при втором O — H); $\cdots\overset{\delta-}{O}\leftarrow\overset{\delta+}{H}\cdots\overset{\delta-}{O}\leftarrow\overset{\delta+}{H}\cdots$ (при первом O — H, при втором O — CH_3)

21. CH_3NH_2; $H-\underset{H}{\overset{H}{C}}-N\begin{smallmatrix}H\\H\end{smallmatrix}$.

22. C_7H_{16}.

23. а) CH_4; б) C_2H_6.

24. C_6H_{14}.

25. а) CH_3OH, $H-\underset{H}{\overset{H}{C}}-O-H$; б) CH_3SH, $H-\underset{H}{\overset{H}{C}}-S-H$.

26. Да.

Раздел 2. Углеводороды

30. Количество изомеров — 3: *н*-пентан, метилбутан и диметилпропан.

31. 1б, 2в, 3г, 4а.

32. Количество изомеров — 7.

33. Изомеры — соединения с формулой C_8H_{18}.

34. $\rho(C_4H_{10})$ = 2,59 г/л; $D_{H_2}(C_4H_{10}) = 29$.
35. Алкан — диметилпропан.
38. Реакции аналогичны тем, которые протекают с участием хлора.
40. V(возд.) = 77,9 м^3.
41. $C_3H_8 + 5O_2 \rightarrow 3CO_2 + 4H_2O$; $\Delta H = -2200$ кДж;
$2C_4H_{10} + 13O_2 \rightarrow 8CO_2 + 10H_2O$; $\Delta H = -5760$ кДж.
42. M(смеси) = 54,2 г/моль.
43. а) C_7H_{16}; б) CH_4; в) C_3H_8.
44. C_9H_{20}.
45. CH_3Br.
46. C_2Cl_6.
47. C_4H_{10}.
48. C_2H_6.
49. $C_2H_4Br_2$; C_2H_6.
51. 1в, 2б, 3а.
54. Структурных изомеров — 5: пент-1-ен, пент-2-ен, 2-метилбут-1-ен, 3-метилбут-1-ен, 2-метилбут-2-ен.
55. Один (2,3,3-триметилбут-1-ен).
56. а) C_5H_{10}; б) C_3H_6.
60. $C_nH_{2n} + \frac{3n}{2}O_2 \rightarrow nCO_2 + nH_2O$.
61. C_3H_6.
63. а) пент-1-ин;
б) 4-метилгекс-2-ин;
в) 4,4-диметилпент-2-ин.
65. Всего — 3 изомера: пент-1-ин, пент-2-ин, метилбут-1-ин.
67. Метилбут-1-ин; 1,2-дибромо-3-метилбут-1-ен;
1,1,2,2-тетрабромо-3-метилбутан.
69. $V(H_2)$ = 4,48 л.
70. $V(CO_2)$ = 1,2 л.
71. а, б, в — C_5H_8.
78. $m(C_6H_{12})$ = 16,8 г.
79. C_6H_6.
80. $\varphi(C_2H_2) = 0,6$; $\varphi(C_6H_6) = 0,4$.
84. а) $\varphi(C_2H_2) = \varphi(H_2) = 4/9$; $\varphi(C_2H_4) = 1/9$;
б) M(смеси) = 15,6 г/моль.
85. $V(C_2H_2) : V(C_6H_6) = 1 : 1$.

Раздел 3.
Оксигенсодержащие органические соединения

90. а) $$\begin{array}{l} CH_3 \\ | \\ CH_3-CH-CH-CH_2-CH_3; \\ | \\ OH \end{array}$$ б) $$\begin{array}{l} CH_3\ CH_3 \\ |\quad\ \ | \\ CH_3-C—CH-CH_2-CH_2-CH_3; \\ | \\ OH \end{array}$$

в) $$\begin{array}{l} C_2H_5 \\ | \\ CH_3-CH_2-C-CH_2-CH_3. \\ | \\ OH \end{array}$$

91. Таких спиртов — 4: 2-метилбутан-1-ол, 3-метилбутан-1-ол, 2-метилбутан-2-ол, 3-метилбутан-2-ол.

92. Количество атомов Карбона в молекуле спирта: а) пять; б) шесть; в) два; г) один.

93. $C_4H_7(OH)_3$. Воспользуйтесь общей формулой для трехáтомных спиртов $C_nH_{2n-1}(OH)_3$.

94. C_3H_7OH.

95. $C_3H_5(OH)_3$.

103. $m(Na) = 0{,}46$ г; V(спирта) $= 1{,}16$ мл.

104. $w(C_2H_5OH) = 6\ \%$.

105. $V(C_2H_4) = 905$ л.

106. Два решения.

109. $V(H_2) = 3{,}36$ л.

110. w(глицерола) $= 33{,}8\ \%$.

111. $C_3H_5(OH)_3$.

113. $C_2H_4(OH)_2$.

119. C_6H_5OH.

125. $C_nH_{2n+1}OH + [O] \rightarrow C_{n-1}H_{2n-1}CHO + H_2O$ ($n = 1, 2, ...$)
или $C_{n+1}H_{2n+3}OH + [O] \rightarrow C_nH_{2n+1}CHO + H_2O$ ($n = 0, 1, ...$).

126. Альдегид — диметилпропаналь.

127. Нет.

130. б) 2,3-диметилпентановая кислота; в) 3-бромопропановая кислота.

132. Таких кислот — 4: пентановая, 2-метилбутановая, 3-метилбутановая, диметилпропановая.

133. Таких кислот — 4: 2-этилбутановая, 2,2-диметилбутановая, 2,3-диметилбутановая, 3,3-диметилбутановая.

134. а) $C_6H_{13}COOH$; б) C_4H_9COOH.

135. 2,3-диметилбутановая кислота.

136. CH_3COOH.

143. а) w(к-ты) = 40 %; б) w(к-ты) = 44,5 %;
в) w(к-ты) = 49,6 %.

144. m(р-ра) = 10 г.

145. V(воды) = 2086,5 мл.

146. w(HCOOH) = 60,5 %.

147. m(этанола) = 47,2 кг.

148. w(воды) = 10,2 %.

149. Фенол не содержал заметного количества примесей.

150. $m(CH_3CHO)$ = 12,1 г.

151. $V(H_2)$ = 3,1 л.

152. w(прим.) = 5,4 %.

153. $m(CO_2)$ = 3,3 т.

160. $m(CH_3OH)$ = 8 г.

165. m(р-ра) = 2,79 т.

166. m(глицерола) = 1,02 кг.

171. m(воды) = 460 г.

172. m(5 %-го р-ра) = 150 г; m(25 %-го р-ра) = 50 г.

173. m(Ag) = 86,4 г.

174. $V(CO_2)$ = 22,4 л.

175. m(глюкозы) = 12 г.

179. w(C) = 40 %.

180. а) ненасыщенный раствор; б) насыщенный раствор.

181. m(сахара) = 22,2 г, m(10 %-го р-ра) = 177,8 г.

182. В моносахариды превратилось 95 % сахарозы.

184. m(кислорода) = 118,5 т.

186. m(этанола) = 113,6 кг.

Раздел 4.
Нитрогенсодержащие органические соединения

200. w(прим.) = 11,4 %.

201. а) $C_4H_9NH_2$; б) $C_2H_5NH_2$.

202. CH_3NH_2.

206. $m(C_6H_5NO_2)$ = 278,4 кг.

214. m(к-ты) = 20 г.

215. w(глицина) = 45,7 %.

222. m(N) ≈ 2 г.

Раздел 5.
Синтетические высокомолекулярные органические соединения и материалы на их основе

228. $CClF{=}CF_2$. Да.

233. а) N(−NH−CO−) = 1,8 · 10^{24}; б) N(−NH−CO−) = 1 · 10^{23}.

238. w(C) = 38,4 %; w(Cl) = 56,8 %.

247. w(Cl) = 40,1 %.

Раздел 6.
Взаимопревращения органических веществ. Органические соединения в жизни человека и общества

252. Молекулы. Соли органических кислот состоят из ионов, аминокислоты — из биполярных ионов.

258. Два углеводорода — бутан и изобутан.

259. Пропановая кислота.

260. w(бензена) = 6 %.

264. M_r(витамина) = 376.

Словарь терминов

Алкадиены — углеводороды, в молекулах которых имеется открытая карбоновая цепь с двумя двойными связями.

Алканы — насыщенные углеводороды с открытой карбоновой цепью в молекулах.

Алкены — углеводороды, в молекулах которых имеется открытая карбоновая цепь с одной двойной связью.

Алкины — углеводороды, в молекулах которых имеется открытая карбоновая цепь с одной тройной связью.

Альдегидная группа — группа атомов $-C\genfrac{}{}{0pt}{}{\nearrow O}{\searrow H}$ ($-C{=}O$, $-C{-}H$).

Альдегиды — вещества, в молекулах которых альдегидная группа соединена с атомом Гидрогена или углеводородным остатком.

Аминогруппа — группа атомов $-NH_2$.

Аминокислоты — производные углеводородов, в молекулах которых имеются амино- и карбоксильные группы.

α-*Аминокислоты* — аминокислоты, в молекулах которых аминогруппа соединена с ближайшим к карбоксильной группе атомом Карбона.

Амины — продукты замещения атомов Гидрогена в молекулах аммиака NH_3 на углеводородные остатки.

Антибиотики — вещества, вырабатываемые некоторыми микроорганизмами и растениями, обладающие антибактериальным и антивирусным действием.

Арены, или *ароматические углеводороды*, — углеводороды, в молекулах которых имеется одно или несколько бензеновых колец.

Белки — полипептиды, состоящие из фрагментов молекул α-аминокислот и выполняющие особые функции в живых организмах.

Биологически активные вещества — вещества, активно влияющие на различные процессы в живых организмах.

Биотехнология — технология, основанная на превращении веществ с участием микроорганизмов или продуктов их жизнедеятельности.

Биполярный ион — ион, имеющий на двух атомах одинаковые противоположные заряды.

Биуретовая реакция — качественная реакция на пептидные группы в молекулах.

Витамины — органические соединения, необходимые организму в незначительном количестве для протекания важных биохимических и физиологических процессов.

Водородная связь — электростатическое взаимодействие между молекулами с участием атомов Гидрогена.

Волокна — длинные гибкие нити из природных или синтетических полимеров.

Вторичная структура белка — определенная пространственная форма, которую приобретает полипептидная цепь.

Высокомолекулярные соединения — вещества, имеющие относительную молекулярную массу от нескольких тысяч до десятков миллионов.

Высшие карбоновые кислоты — карбоновые кислоты, в молекулах которых имеется 10 и более атомов Карбона.

Гидроксильная группа — группа атомов –OH.

Гидролиз — реакция обмена между соединением и водой.

Гомологи — органические соединения, принадлежащие к определенному гомологическому ряду.

Гомологическая разность — группа атомов CH_2.

Гомологический ряд — ряд органических соединений, молекулы которых имеют сходное строение и различаются на одну или несколько групп атомов CH_2.

Денатурация белка — потеря белком биологических функций вследствие разрушения его пространственной структуры.

Дисахариды — углеводы, молекулы которых состоят из двух остатков молекул одного или двух моносахаридов.

Жиры — эстеры глицерола и высших карбоновых кислот.

Заместитель — атом[1] или группа атомов, являющиеся ответвлением в карбоновой цепи.

Изомерия — явление существования соединений, имеющих одинаковый состав, но разное строение молекул.

Изомеры — соединения, имеющие одинаковый состав, но разное строение молекул.

---

[1] Кроме атома Гидрогена.

Истинная формула — формула, отвечающая реальному составу молекулы.

Карбоксильная группа — группа атомов $-C\begin{smallmatrix}\nearrow O \\ \searrow OH\end{smallmatrix}$.

Карбонильная группа — группа атомов $>C{=}O$.

Карбоновые кислоты — вещества, в молекулах которых карбоксильная группа соединена с атомом Гидрогена или углеводородным остатком.

Каучуки — полимеры растительного или синтетического происхождения, из которых производят резину.

Ксантопротеиновая реакция — качественная реакция на фрагменты молекул ароматических аминокислот в молекуле белка.

Макромолекула — молекула полимера (высокомолекулярного соединения).

Многоáтомные спирты — спирты, в молекулах которых имеется несколько гидроксильных групп.

Мономер — исходное вещество в реакции полимеризации или поликонденсации.

Моносахариды — углеводы с общей формулой $C_n(H_2O)_m$, в которой n и m могут принимать значения 5 и/или 6.

Мылá — соли щелочных элементов и высших карбоновых кислот.

Насыщенные углеводороды — углеводороды, в молекулах которых атомы Карбона соединены простыми ковалентными связями.

Незаменимые α-аминокислоты — аминокислоты, необходимые для синтеза белков в организмах.

Ненасыщенные углеводороды — углеводороды, в молекулах которых атомы Карбона соединены не только простыми ковалентными связями, но и кратными связями.

Одноáтомные спирты — спирты, в молекулах которых имеется одна гидроксильная группа.

Органическая химия — 1) область химии, изучающая органические соединения и их превращения; 2) химия углеводородов и их производных.

Органические вещества — соединения Карбона (с некоторыми исключениями).

Органические основания — органические соединения, молекулы которых могут присоединять катионы H^+.

Пептид — 1) продукт взаимодействия молекул аминокислот; 2) вещество, молекулы которого состоят из фрагментов молекул аминокислот, соединенных пептидными группами.

Пептидная группа — группа атомов –CO–NH–.

Первичная структура белка — полипептидная цепь с четкой последовательностью аминокислотных остатков.

Пластмассы — материалы на основе полимеров, способные при нагревании и под давлением приобретать определенную форму и сохранять ее.

Полимеры — соединения, молекулы которых состоят из большого количества одинаковых групп атомов.

Полисахариды — углеводы, молекулы которых состоят из многих остатков молекул моносахаридов.

Производные углеводородов — продукты замещения атомов Гидрогена в молекулах углеводородов на атомы других элементов или группы атомов.

Простейшая формула — формула, показывающая соотношение количества атомов элементов в молекуле.

Реакции брожения — превращения органических веществ (углеводов) с участием микроорганизмов или выделенных из них ферментов.

Реакция галогенирования — реакция органического вещества с галогеном.

Реакция гидратации — реакция соединения вещества с водой.

Реакция гидрирования — реакция соединения вещества с водородом.

Реакция дегидратации — реакция отщепления воды от вещества.

Реакция дегидрирования — реакция отщепления водорода от вещества.

Реакция замещения (в органической химии) — реакция, в которой атомы в молекулах органического вещества замещаются другими атомами или группами атомов.

Реакция изомеризации — реакция превращения вещества в изомер.

Реакция поликонденсации — реакция образования полимера в результате взаимодействия характеристических групп молекул мономера с выделением воды, аммиака, хлороводорода.

Реакция полимеризации — реакция образования полимера в результате последовательного соединения молекул мономера за счет разрыва одной из составляющих кратной связи.

Реакция присоединения — то же, что и реакция соединения.

Реакция хлорирования — реакция органического вещества с хлором.

Реакция эстерификации — реакция между спиртом и кислотой с образованием эстера и воды.

Систематическая номенклатура — система названий веществ, согласно которой каждому веществу дают название, указывающее на его состав и строение.

Сополимер — вещество, образующееся в реакции полимеризации с участием двух соединений (мономеров).

Спирты — производные углеводородов, в молекулах которых имеется одна или несколько гидроксильных групп.

Степень полимеризации — количество элементарных звеньев в макромолекуле полимера.

Структурная изомерия — изомерия, обусловленная различной последовательностью соединения атомов в молекулах, а также различным положением в них кратных связей, характеристических групп.

Термопластичные полимеры — полимеры, которые после нагревания и последующего охлаждения сохраняют свои свойства.

Термореактивные полимеры — полимеры, при нагревании которых изменяется их строение, теряется способность плавиться и некоторые другие свойства.

Третичная структура белка — форма молекулы белка, образовавшаяся в результате свертывания спирали полипептидной цепи в клубок (глобулу).

Углеводородный остаток — заместитель или часть молекулы органического соединения, состоящие из атомов Карбона и Гидрогена.

Углеводороды — соединения Карбона с Гидрогеном.

Углеводы — органические соединения с общей формулой $C_n(H_2O)_m$.

Ферменты — группа веществ белковой природы, являющихся катализаторами биохимических реакций в организмах.

Характеристическая (функциональная) группа — группа атомов в молекулах веществ определенного класса, обуславливающая их характерные химические свойства.

Цикл — замкнутая цепь из соединенных атомов в молекуле.

Циклоалканы — насыщенные углеводороды, молекулы которых имеют циклическое строение.

Четвертичная структура белка — единый комплекс из нескольких глобул молекул белка.

Эластичность — способность материала после деформации восстанавливать свою форму.

Элементарное звено — группа соединенных атомов, многократно повторяющаяся в макромолекуле полимера.

Эстеры[1] — производные карбоновых кислот, в молекулах которых атом Гидрогена карбоксильной группы замещен на углеводородный остаток.

Этеры[2] — органические соединения, в молекулах которых атом Оксигена соединен с двумя углеводородными остатками.

---

[1] Другой термин — сложные эфиры.
[2] Другой термин — простые эфиры.

Предметный указатель

В

Г

Д

Ж

З

И

К

Л

М

Н

О

П

Р

С

Т

У

Ф

Х

Ц

Э

Литература для учащихся

1. Василега М. Д. Цікава хімія / М. Д. Василега. — К. : Рад. шк., 1989. — 188 с.

2. Вороненко Т. І. Хімія щодня. Це треба знати кожному / Тетяна Вороненко, Тетяна Іваха. — К. : Шк. світ, 2011. — 128 с.

3. Котляр З. В. Хімія елементів / З. В. Котляр, В. М. Котляр. — К. : Вид. дім «Перше вересня», 2016. — 224 с.

4. Лєєнсон І. А. Дивовижна хімія / І. А. Лєєнсон. — Х. : Ранок, 2011. — 176 с.

5. Смаль Ю. Цікава хімія. Життєпис речовин / Юля Смаль. — Львів : Вид-во Старого Лева, 2016. — 112 с.

Интернет-сайты, содержащие интересный материал по химии

1. http://chemistry-chemists.com
2. https://www.facebook.com/www.chemisjohn.org
3. http://www.thoughtco.com/chemistry-4133594

Содержание

4 раздел
Нитрогенсодержащие органические соединения

5 раздел
Синтетические высокомолекулярные органические соединения и материалы на их основе

6 раздел
Взаимопревращения органических веществ. Органические соединения в жизни человека и общества

Навчальне видання

ПОПЕЛЬ Павло Петрович
КРИКЛЯ Людмила Сергіївна

ХІМІЯ

Рівень стандарту

Підручник для 10 класу
закладів загальної середньої освіти
з навчанням російською мовою

Переклад з української П. П. Попеля

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України

Видано за державні кошти.
Продаж заборонено

Редактор Г. Т. Сенькович
Коректор Г. А. Теремко
Художнє оформлення В. М. Штогрина
Комп'ютерна верстка Є. М. Байдюка

Формат 60×90/16. Ум. друк. арк. 17.
Наклад 15 131 прим. Зам.

Видавничий центр «Академія»,
м. Київ, вул. Дегтярівська, 38—44.
Тел./факс: (044) 483-19-83; 456-84-63.
E-mail: academia.book@gmail.com
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 555 від 03.08.2001 р.

Видрукувано у ПрАТ «Харківська книжкова фабрика "Глобус"
корпоративне підприємство ДАК Укрвидавполіграфія»
вул. Різдвяна, 11, м. Харків, 61052.
Свідоцтво серія ДК № 3985 від 22.02.2011 р.

Підручник підготовлено за навчальною програмою з хімії для 10 класу закладів загальної середньої освіти (рівень стандарту). У ньому розглянуто класифікацію, склад, будову, властивості та застосування найважливіших органічних сполук. Містить практичну роботу, лабораторні досліди, запитання, вправи, задачі, додатковий матеріал для допитливих, а також словник хімічних термінів, предметний покажчик, список літератури для учнів та інтернет-сайтів із цікавим матеріалом з хімії.